

3/1075

09/830017  
532 Rec' CT/PTO 19 APR 2001

**TRANSLATION FROM GERMAN**

World Intellectual Property Organization

International application published pursuant to the Treaty on International Patent Cooperation (PCT)

(51) International Patent Classification: H02N 3/00 A1

(11) International Publication Number: **WO 00/25414**

(43) International Publication Date: May 4, 2000 (5/4/00)

---

(21) International File Number: PCT/DE99/03389

(22) International Filing Date: October 21, 1999 (10/21/99)

(30) Priority Data: 198 48 852.1 October 22, 1998 (10/22/98) DE

(71) (72) Applicant and inventor: LUCHINSKIY, Alexander [UA/DE]; Gymnastelstrasse 11, D-55543 Bad Kreuznach (DE), WERTH, Guenther [DE/DE]; Carl-Orff-Strasse 37, D-55127 Mainz (DE), SHIFRIN, Yakov [UA/UA]; Apartment 80, Kozmicheskaya Ulitsa 4, Kharkov 310145 (UA)

(81) Treaty states: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

Published

With international search report.

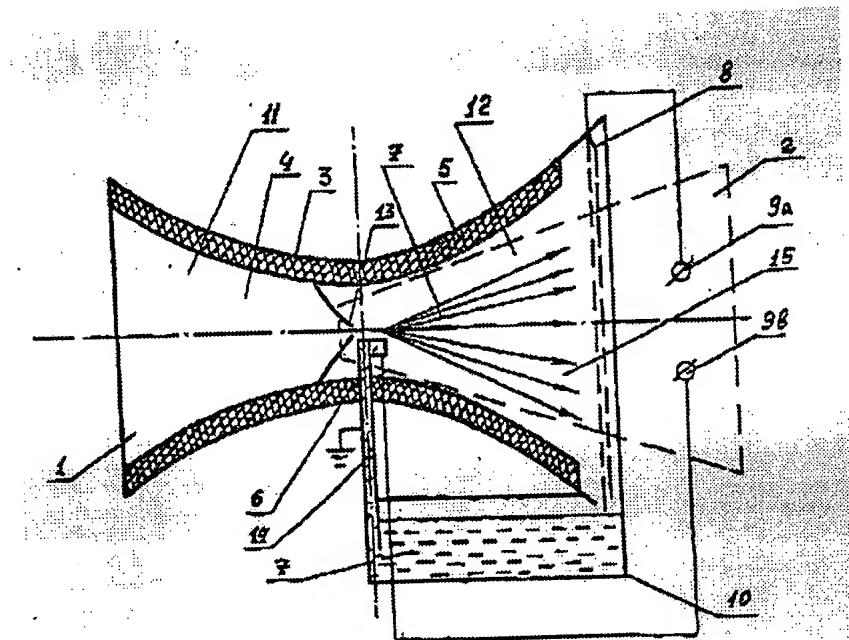
Before expiration of the term allowed for amendments of the claims publication will be repeated if amendments are received

---

(54) Title: **METHOD FOR PRODUCING ELECTRICAL ENERGY**

(57) Abstract

A method for producing electrical energy in which charges are separated between two working media triboelectrically or electrostatically, the charges are moved away from one another by displacement of the working media under the action of external forces, here the external forces perform work against the Coulomb force, and the charges are routed onto electrodes, the indicated process steps being carried out within the inside volume of a heat tube, charge separation and charge displacement taking place using the directed gas flow of the heat tube, which flow entrains one working medium and routes it past the other working medium for charge separation and displacement. Application - use of solar energy



ONLY FOR INFORMATION

Codes for identification of PCT treaty states on the cover sheets of publications which disclose international applications according to the PCT.

|    |                          |    |                            |
|----|--------------------------|----|----------------------------|
| AL | Albania                  | LK | Sri Lanka                  |
| AM | Armenia                  | LR | Liberia                    |
| AT | Austria                  | LS | Lesotho                    |
| AU | Australia                | LT | Lithuania                  |
| AZ | Azerbaijan               | LU | Luxembourg                 |
| BA | Bosnia-Herzegovina       | LV | Latvia                     |
| BB | Barbados                 | MC | Monaco                     |
| BE | Belgium                  | MD | Republic of Moldova        |
| BF | Burkina Faso             | MG | Madagascar                 |
| BG | Bulgaria                 | MK | former Yug. Rep. Macedonia |
| BJ | Benin                    | ML | Mali                       |
| BR | Brazil                   | MN | Mongolia                   |
| BY | Belarus                  | MR | Mauritania                 |
| CA | Canada                   | MW | Malawi                     |
| CF | Central African Republic | MX | Mexico                     |
| CG | Congo                    | NE | Niger                      |
| CH | Switzerland              | NL | Netherlands                |
| CI | Ivory Coast              | NO | Norway                     |
| CM | Cameroon                 | NZ | New Zealand                |
| CN | China                    | PL | Poland                     |
| CU | Cuba                     | PT | Portugal                   |
| CZ | Czech Republic           | RO | Romania                    |
| DE | Germany                  | RU | Russian Federation         |
| DK | Denmark                  | SD | Sudan                      |
| EE | Estonia                  | SE | Sweden                     |
| ES | Spain                    | SG | Singapore                  |
| FI | Finland                  | SI | Slovenia                   |
| FR | France                   | SK | Slovak Republic            |
| GA | Gabon                    | SN | Senegal                    |
| GB | United Kingdom           | SZ | Swaziland                  |
| GE | Georgia                  | TD | Chad                       |
| GH | Ghana                    | TG | Togo                       |
| GN | Guinea                   | TJ | Tajikistan                 |
| GR | Greece                   | TM | Turkmenistan               |
| HU | Hungary                  | TR | Turkey                     |
| IL | Ireland                  | TT | Trinidad and Tobago        |
| IL | Israel                   | UA | Ukraine                    |
| IS | Iceland                  | UG | Uganda                     |
| IT | Italy                    | US | USA                        |

|    |                             |    |            |
|----|-----------------------------|----|------------|
| JP | Japan                       | UZ | Uzbekistan |
| KE | Kenya                       | VN | Vietnam    |
| KG | Kyrgyzstan                  | YU | Yugoslavia |
| KP | Dem. People's Rep. of Korea | ZW | Zimbabwe   |
| KR | Republic of Korea           |    |            |
| KZ | Kazakhstan                  |    |            |
| LC | St. Lucia                   |    |            |
| LI | Liechtenstein               |    |            |
| LK | Sri Lanka                   |    |            |
| LR | Liberia                     |    |            |
| LS | Lesotho                     |    |            |

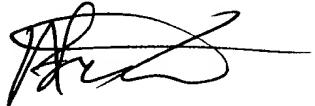
To:  
United States Patent and Trademark Office  
Washington, DC, 20231

28.10.02

Conc: PCT /DE 99/03389 (09/830,017)

Dear Sirs,

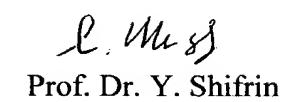
We are sending you the amended application.  
Please, pay attention, that term "heat tube", which was the mistake of translation, is corrected for "heat pipe".



Dr. Alexander Luchinskiy



Prof. Dr. Günther Werth



Prof. Dr. Y. Shifrin



# Urkunde Certificate Certificat

Es wird hiermit bescheinigt, daß für die in der beigefügten Patentschrift beschriebene Erfindung ein europäisches Patent für die in der Patentschrift bezeichneten Vertragsstaaten erlißt worden ist.

It is hereby certified that a European patent has been granted in respect of the invention described in the annexed patent specification for the Contracting States designated in the specification.

Il est certifié qu'un brevet européen a été délivré pour l'invention décrite dans le fascicule de brevet ci-joint, pour les Etats contractants désignés dans le fascicule de brevet.

Europäisches Patent Nr.

European Patent No.

Brevet européen n°

1123578

Patentinhaber

Luchinskiy, Alexander  
Gymnasialstrasse 11  
55543 Bad Kreuznach/DE

Proprietor of the Patent

Werth, Günther  
Carl-Orff-Strasse 37  
55127 Mainz/DE

Titulaire du brevet

Shifrin, Yakov  
Apartment 80, Kosmicheskaya Strasse 4  
Charkow 310145/UA

München, den 28.08.02  
Münch,  
Fait à Munich, le

EPA/EPO/OEB Form 2031 01.95

Ingo Kober

Präsident des Europäischen Patentamts  
President of the European Patent Office  
Président de l'Office européen des brevets

Vorauslexikon  
in fünf Bänden zur  
**BROCKHAUS  
ENZYKLOPÄDIE**

Neunzehnte Auflage

2

EL-I



F.A. Brockhaus Mannheim

# **ENCLOSURE 1**

In diesem Buch werden, wie in allgemeinen Nachschlagewerken üblich, etwa bestehende Patente, Gebrauchsmuster oder Warenzeichen nicht erwähnt. Wenn ein solcher Hinweis fehlt, heißt das also nicht, daß eine Ware oder ein Warenname frei ist.

Das Wort **BROCKHAUS** ist für Bücher aller Art für die F.A. Brockhaus GmbH als Warenzeichen geschützt.

---

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**[Vorauslexikon zur Brockhaus-Enzyklopädie,  
neunzehnte Auflage]**

Vorauslexikon in fünf Bänden zur Brockhaus-Enzyklopädie, neunzehnte Auflage. – Mannheim: Brockhaus

ISBN 3-7653-0857-9

NE: Brockhaus-Enzyklopädie

2. El - I. - 1986.

ISBN 3-7653-0859-5

---

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© F. A. Brockhaus GmbH, Mannheim 1986 – V. Nr. M 4

– ISBN für das Gesamtwerk: 3-7653-0857-9

für Band 2: 3-7653-0859-5

Satz: Satzzentrum Oldenburg GmbH, Oldenburg (Oldb)

Druck und Bindung: Neue Stalling GmbH,

Oldenburg (Oldb)

Printed in Germany

## Hebr

reichte er durch sensationelle Aufmachung, geschickte Werbung, hochbezahlte Journalisten.

**Heast-Insel** [h'ast-], engl. **Heast Island** [-'aɪlənd], vergleichsweise Insel der W-Antarktis im W der Weddell-See, 1928 von H. Wilkins entdeckt.

**Heartfield** [h'artfild], John, eigtl. Helmut Herzfeld, Grafiker und Bildpublizist, Schmargendorf bei Berlin 19. 6. 1891, † Berlin (Ost) 26. 4. 1968, Mitgründer und Illustrator der Zeitschriften der Berliner Dada-Gruppe und Antikriegspublizistik, entwickelte die Photomontage zum Mittel der politischen Karikatur.

**Heath** [hi:θ], Edward, brit. Politiker (Konservativer), \* Broadstairs 9. 7. 1916; zw. 1959 und 1964 Min., 1965-75 Führer der Konservativen im Unterhaus, setzte als Premiermin. (1970-74) den Beitritt seines Landes in die EG durch; sein Versuch, das Gewerkschaftswesen zu reformieren, scheiterte am Widerstand der Gewerkschaften. - 1963 erhielt H. den → Karlspreis.

**Heat Pipes** [hi:t paips, engl.] Pl., Wärmerohre, Vorrichtung für den Wärmetransport. Schon bei geringen Temperaturunterschieden zw. den Enden der in sich geschlossenen H. P. werden relativ große Wärmemengen geleitet. H. P. sind teilevakuierte Metallrohre, deren Innenwandungen mit einer porösen Schicht mit Kapillarstruktur ausgekleidet sind. Am wärmeren Rohrende verdampft die Flüssigkeit und nimmt dabei Verdampfungswärme auf. Am kühleren Ende kondensiert sie und gibt die Verdampfungswärme ab. Durch die Kapillarwirkung der Oberflächenschicht fließt das Kondensat wieder zum wärmeren Rohrende zurück.

**Heaviside** [h'evisaid], Oliver, brit. Physiker, \* London 8. 5. 1850, † Torquay (Devon) 3. 2. 1925, Privatgelehrter; wichtige Arbeiten auf dem Gebiet der Elektrostatisik und der elektromagnet. Induktion, entwickelte die heutige Form der Vektoren- und Operatorenrechnung, führte gleichzeitig mit A. E. Kennelly (\* 1861, † 1939) die Ausbreitung elektr. Wellen um die Erde auf das Vorhandensein einer hochliegenden ionisierten Schicht der Atmosphäre (Kennelly-H.-Schicht) zurück.

**Hebamme**, staatlich geprüfte und anerkannte, an einer Hebammenlehranstalt (3 Jahre) ausgebildete Geburtshelferin. Neben Betreuung während der Schwangerschaft und Hilfe bei der Entbindung pflegt sie Mutter und Kind in den ersten Tagen des Wochenbetts. H. können in freier Praxis oder als Anstalts-H. tätig sein. Nach § 18 der Ausbildungs- und Prüfungsordnung für H. v. 3. 9. 1981 werden auch Männer (Entbindungsphysiologen) für den Beruf der H. zugelassen.

**Hebbel**, Friedrich, Dichter, \* Wesselburen in Dithmarschen 18. 3. 1813, † Wien 13. 12. 1863, Sohn eines Maurers, autodidakt. Studien in Hamburg, unterstützt von Elise Lensing; studierte dann Jura in Heidelberg und München; nach einem 2. Aufenthalt in Hamburg und größeren Reisen seit 1845 in Wien, seit 1846 mit der Hofschauspielerin Christine Enghaus. H. bewahrte den strengen Stil der Tragödie, nahm aber bereits viele Züge des modernen Theaters (Strindberg, Wedekind) vorweg. Durch die geschichtl. Dialektik seiner Dramen (von ihm auch theoretisch formuliert), die den Untergang des Helden zur Bedingung der Überwindung eines überalterten und des Aufstiegs einer neuen Geschichtsepoke machte, suchte H. der trag. Notwendigkeit einen überindividuellen Sinn zu geben. Doch ist in seiner Tragik ohne Versöhnung selbst die Gottheit in den Widerspruch alles Seienden hineingezogen. Stimmungsschwere, grüblerische Gedichte, Erz. und ein Tagebuch (zuerst hg. 1885-87) von hohem Rang, in dem sich Erfahrungen seines Lebens und Reflexionen zur Kunst niederschlugen.

**HW: Schauspiele**: Judith (1840); Oenoveva (1843); Maria Magdalena (Bürgerliches Trauerspiel, 1840); Herodes und Mariamne (1849); Agnes Bernauer (1852); Gyges und sein Ring (1856); Die Nibelungen (Trilogie, 1861). Auch Komödien, Dramenfragmente. - **Versnolle**: Mutter und Kind (1859). - Gedichte, Erzählungen, Aufsätze, Tagebücher.

**Hebe**, die grch. Göttin der Jugend, Tochter des Zeus und der Hera, Mundschenkin der Götter, Gemahlin des Herakles; von den Römern der Iuventas gleichgesetzt.

**Hebebaum**, Stange zum Anheben von Lasten durch Hebelwirkung.

**Hebebühne**, Plattform o. ä. Einrichtung zum Anheben von Lasten, z. B. Kraftwagen, oder als heb- und senkbare Arbeitsbühne.

**Hebei**, chines. Prov., → Hopeh.

**Hebel** der, -s/-, 1) um eine feststehende Achse drehbarer starrer Körper, oft in Form einer geraden oder gewinkelten (Winkelhebel) Stange. Am H. herrscht Gleichgewicht, wenn das Drehmoment aller an ihm angreifenden Kräfte (Kräfte und Lasten) gleich Null ist (Hebelgesetz). Für den einfachen geraden H., an dessen einem Ende eine Kraft angreift und dessen anderes Ende eine Last trägt, gilt dann die Gleichung: Kraft  $\times$  Kraftarm = Last  $\times$  Lastarm; dabei sind **Kraftarm** und **Lastarm** die Entfernung der Angriffspunkte von Kraft und Last von der Drehachse. Beim einarmigen H. greifen Kräfte und Lasten am gleichen Hebelarm an, beim zweia-

rmigen Hebel an je einem Arm. Der H. gehört zu den ältesten einfachen Maschinen; mit ihm lassen sich mit kleinem Kraftaufwand und großem Hebelarm große Kräfte an einem entsprechend kleinen Arm erzeugen (Hebebaum, Schere, Zange und dgl.). BILD S. 524. 2) im Budo Form des Angriffs auf ein Gelenk, bes. ein Armgelenk des Gegners (Armhebel); im Judo nur am Ellbogen gelenkverlaubt.

**Hebel**, Johann Peter, Dichter, \* Basel 10. 5. 1760, † Schweringen 22. 9. 1826, seit 1791 Lehrer am Gymnasium in Karlsruhe, 1808-14 Direktor, 1819 Prälat (der bad. Landeskirche). Aus dem Heimweh nach dem ländl. Südbaden entstanden die mundartl. „Alemannischen Gedichte“ (1803), bildkräftig, mit heiter-erstern Szenen und Betrachtungen. Die Kurzergänzungen, als „Kalendergeschichten“ im „Rheinland. Hausfreund“ erschienen, den H. 1808-15 und später herausgegeben, erwarben sich große Volks-tümlichkeit. Eine Reihe seiner bekanntesten Beiträge fasste er im „Schatzkästlein des rhein. Hausfreundes“ (1811) zusammen.

**heben** [ahd. heven]. ich hebe (hob, ḥo hub, habe gehoben). 1) ihn, es, bewege, bringe in die Höhe (und setze an anderer Stelle nieder): der Kran hebt 5000 Kilo auf 6 m Höhe; er hob die Hand zum Schwur. 2) es, U. steigere, bringe zur Entfaltung, Wirkung: das hebt sein Ansehen. 3) schätze, fördere zutage. 4) ein Haus, richte, führe hoch. 5) einen, U. trinke. 6) es, alemann.: halte es. 7) es hebt sich, steigt: der Wasserspiegel hebt sich. 8) es hebt sich, U. belebt sich, beginnt aufzublühen (Handel, Verkehr). 9) (habe gehobt) es, schweizer.: greife, halte fest. 1) es, luſte, nchme weg. 2) Geld, lasse mir von meinem Guthaben auszahlen. 3) Kartenspiel: teile als rechter Nebenmann des Gebundenen die Karten in zwei oder mehr Häufchen und setze sie anders zusammen. 4) Stricken: nehme eine Masche ohne abzusticken herüber. 5) mich von ihm, unterscheide mich sehr: die Farben heben sich gut voneinander ab. 6) ein Flugzeug hebt ab, löst sich beim Start vom Boden. ich hebe an. 1) es, bringe ein Stück in die Höhe. 2) etwas zu tun, mit etwas, P beginne: er hob an zu reden. ich habe auf, 1) es, ihn, bringe in die Höhe: er hob mir meine heruntergefallene Brille auf. 2) es, beende: er hob die Sitzung, die Tafel auf. 3) es, streiche, erkläre für nichtig: die Verfügung wurde aufgehoben. 4) es, bewahre auf: den Versicherungsschein mußt du gut aufheben. 5) es, räume auf. 6) sie heben sich oder einander auf, eins hebt das andere auf, eins zerstört die Wirkung des anderen: + 2 und - 2 heben sich auf, ergeben 0. ich hebe aus, 1) es, grabe aus (Gräben). 2) ihn, & wähle zum Heiresdienst aus. 3) es, hebe aus den Angeln (Tür, Fenster). 4) ihn, mache unschädlich, verhafte: die Polizei hat das Verbrechernest ausgehoben. ich hebe es ein, 1) hebe in die Angeln (Tür, Fenster). 2) österr.: erhebe, lasse zählen (Steuern). ich hebe es hervor, Übetone, unterstreiche: in der Rede wurde hervorgehoben, daß...

**Hebephrenie** [zu → Hebe] die, -, Form der Schizophrenie.

**Heber** der, -s/-, Gerät zum Heben von Flüssigkeiten aus offenen Gefäß durch den Luftdruck. Der Stechheber wird durch Ansaugen der Flüssigkeit, z. B. mit einem Gummiballon, gefüllt. Der Saug- oder Schenkelheber wird mit Flüssigkeit gefüllt und mit dem kurzen Ende in das Gefäß getaucht; dann fließt so lange Flüssigkeit heraus, wie die Ausflußöffnung tiefer liegt als der Flüssigkeitsspiegel im Gefäß. Der Gift-H. ist eine Sonderform des Saug-H. mit Hahn und besonderem Saugrohr. (BILD S. 532)

**Heberer**, Gerhard, Zoologe, Anthropologe, \* Halle 20. 3. 1901, † Göttingen 13. 4. 1973, arbeitete über allg. Entwicklungsforschung, bes. Abstammungsgeschichte des Menschen. Hg.: Die Evolution der Organismen (1943).

**Hebesatz**, von den Gemeinden jährlich festzulegender Prozentsatz bei der Grund- und Gewerbesteuer, mit dem der Steuermittelbetrag zu vervielfältigen ist, um die Höhe der Steuerschuld zu berechnen.

**Hebetür**, zur Vermeidung von Luftzug unten mit einer konischen Nut verschene Tür, die auf entsprechend geformter Schwelle aufsitzt. Durch Hebelvorrichtung wird sie beim Öffnen in den Angeln gehoben.

**Hebewerk**, → Schiffshebewerk.

**Hebezeuge** Pl., Sammelbezeichnung für Aufzug, Flaschenzug, Kran, Winde.

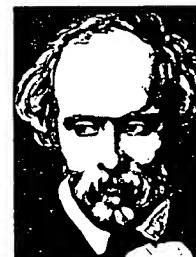
**Hebr**, Abk. für Hebräerbrief (N. T.).

**Hebra**, Ferdinand Ritter von, Dermatologe, \* Brünn 7. 9. 1816, † Wien 5. 8. 1880, Schöpfer der modernen, auf die patholog. Anatomie gestützten Lehre von den Hautkrankheiten.

**Hebräer**, Ebräer, grch. **hebraios**, lat. **hebraeus** [hebr. 'ibri, 'iwl], im A. T. häufige Eigenbezeichnung für Angehörige israelit. Stämme; daher auch Bez. ihrer Sprache als hebräisch (altjüdisch); in mehreren Sprachen Synonym für Juden.

**Hebräerbrief**, theolog. Schrift des N. T. in Form eines Briefes, in der kirchl. Tradition Paulus zugeschrieben. Grundgedanke: Die

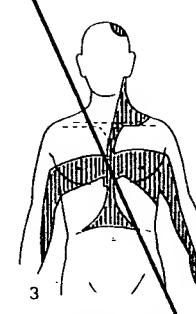
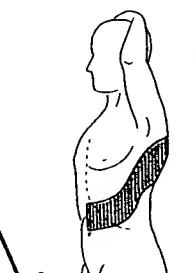
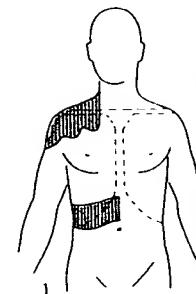
**Headsche Zonen**: 1) kurz nach einem Gallensteinanfall; 2 bei Entzündung der Bauchspeicheldrüse; 3 bei Herz-anfällen (Abb. 3 nach Hochrein/Schleicher: Herz-Kreislauferkrankungen)



Friedrich Hebbel  
(aus einem Gemälde von K. Rahl)



Johann Peter Hebel



## **ENCLOSURE 2**

---

# VDI-Lexikon

## Energietechnik

Herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing.  
Dr.-Ing. E. h. Helmut Schaefer VDI

Vereinbart mit  
Bücher-Zeitschr.-Verzeichnis  
Nr. 1994/1273-N  
27. Okt. 1994  
**BIBLIOTHEK PHYSIK**  
der Philipps-Universität Marburg

60x  
Bibliothekar eingestellt B.A.T. Vo  
DN 235,60

---

**VDI** VERLAG

1994/1273-N

legungsleistung entspricht einem Teil des Gesamtwärmebedarfs. Hierdurch arbeitet sie weit häufiger in der Nähe des Auslegungspunktes mit gutem Wirkungsgrad als im ungünstigeren Teillastbereich. Man unterscheidet zwischen bivalent alternativer Betriebsweise, bei welcher der Wärmebedarf ab dem Dimensionierungspunkt durch die Zusatzheizung allein gedeckt wird (Bild, Fläche 1+2) und der bivalent parallelen → Betriebsart, bei welcher die Wärmepumpe auch bei niedrigsten Außentemperaturen weiterarbeitet (Fläche 2+3) und von der Zusatzheizung (Fläche 1) unterstützt wird. *Knoche*

### Wärmepumpe, verbrennungsmotorisch betriebene → Wärmepumpe

**Wärmequelle.** Energiereservoir für Niedertemperaturwärme. → Wirtschaftlichkeit, Aufbau und Betriebsweise einer → Wärmepumpe hängen weitgehend von der vorhandenen W. ab.

Natürliche W. haben alle einen jahreszeitlich veränderlichen Gang der Temperatur, der z. B. beim Erdreich als W. weit weniger ausgeprägt ist als z. B. bei Luft.

Bei der Erschließung von W.n sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

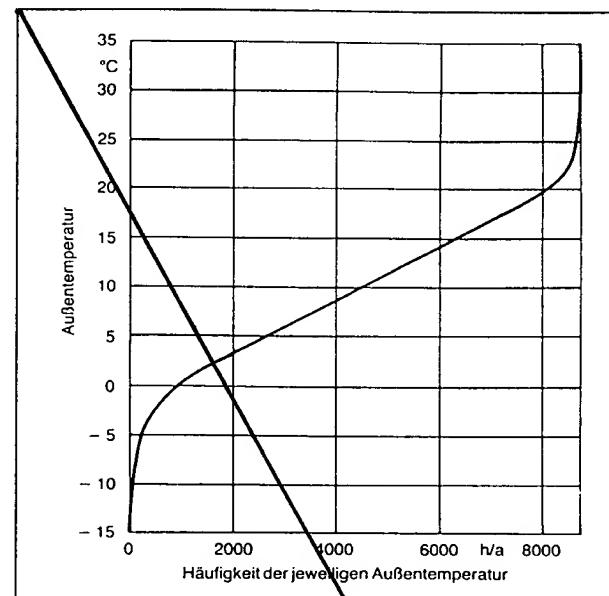
- Die benötigte Wärmemenge soll zu jeder Zeit in ausreichender Menge zur Verfügung stehen;
- die Temperatur der W. soll möglichst hoch sein, damit die Temperaturdifferenz zwischen Nutzwärme und W. klein ist und so eine hohe → Heizzahl der Wärmepumpe erreicht wird;
- die Erschließungskosten der W. sollen gering sein;
- der → Energieaufwand für Pumpen und Ventilatoren soll gering sein.

Im Bereich der Hausheizung sind folgende Wärmequellen geeignet:

*Luft:* Die normale Atmosphäre ist überall und immer verfügbar und stellt ein fast unerschöpfliches Wärmereservoir dar, allerdings bei sehr unterschiedlichen Temperaturen. Für die Bemessung einer Wärmepumpe mit der W. Luft ist deshalb der jahreszeitliche Verlauf der Lufttemperaturen von ausschlaggebender Bedeutung. Eine typische Kurve der Temperaturhäufigkeit zeigt, daß die Temperaturen nur etwa während 200 h/Jahr unter  $-5^{\circ}\text{C}$  und nur etwa während 900 h/Jahr unter  $0^{\circ}\text{C}$  liegen (Bild).

*Wasser:* Wasser ist wegen seiner guten Wärmeübertragungseigenschaft und hohen Wärmekapazität eine ideale Wärmequelle. Für Wärmepumpen wird – falls verfügbar – → Grundwasser oder Oberflächenwasser (Flüsse und Seen) verwendet. Grundwasser hat eine fast gleichmäßige Temperatur von  $8-10^{\circ}\text{C}$ . Damit ergeben sich für den Heizbetrieb günstige Heizzahlen.

*Erboden:* Der Erdboden besitzt ein großes Speicherervermögen für die aufgenommene Sonnen-



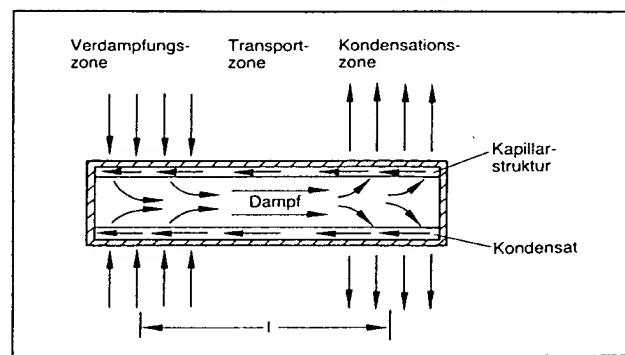
*Wärmequelle: Jahreshäufigkeit der Außentemperaturen am Beispiel der Stadt Mannheim. (Quelle: Trenkowitz: Die Wärmepumpe. In: VDI-Bericht 136. Düsseldorf: VDI-Verlag 1969)*

wärme und hat ab Tiefen von 1,5 m eine praktisch konstante Temperatur von rd.  $+10^{\circ}\text{C}$ . Aus wirtschaftlichen Gründen werden für kleinere Anlagen Rohrschlangen für den Wärmetausch nicht tiefer als 0,80–1,50 m verlegt, wobei der Verlegeabstand  $\geq 1\text{ m}$  betragen soll.

Aus Sicherheitsgründen wird als Wärmeträger ein → Frostschutzmittel verwendet. Aus industriellen und gewerblichen Abwässern kann oftmals mit verhältnismäßig wenig Aufwand → Abwärme zurückgewonnen werden. *Knoche*

**Wärmerohr (Heat Pipe).** Ein W. (engl. heat pipe) ist eine Apparatur mit sehr hohen effektiven Wärmetransporteigenschaften, die durch die Kombination von → Verdampfung und → Kondensation in einem geschlossenen Gefäß erreicht werden.

Den Aufbau und die Funktion eines W. zeigt Bild 1. Das W. weist eine *Verdampfungszone*, eine



*Wärmerohr 1: Schematische Darstellung.*

Nutz-  
eizzahl 0,80–1,50 m verlegt, wobei der Verlegeabstand  
 $\geq 1$  m betragen soll.

Aus Sicherheitsgründen wird als Wärmeträger ein  
→Frostschutzmittel verwendet. Aus industriellen  
und gewerblichen Abwässern kann oftmals mit  
verhältnismäßig wenig Aufwand →Abwärme zu-  
rückgewonnen werden.

*Knoche*

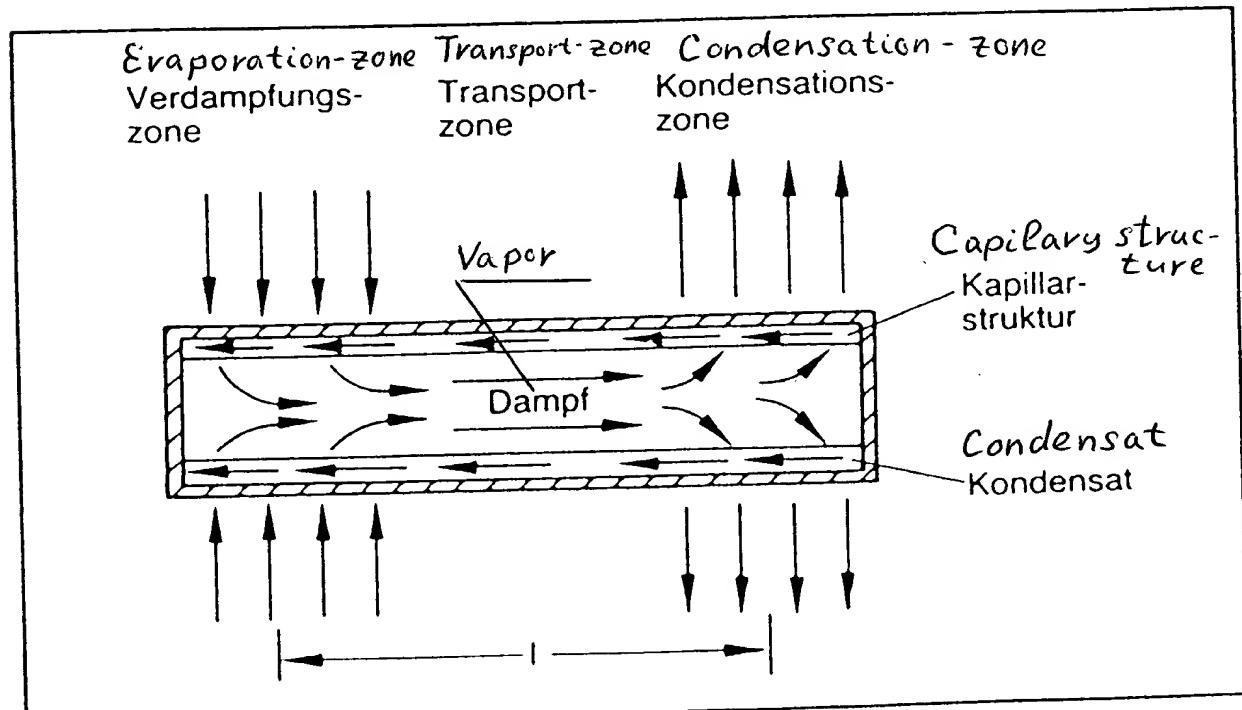
folgende

all und  
öfliches  
unter-  
essung  
alb der  
en von  
Kurve  
peratu-  
und nur  
Bild).

Wärme-  
kapazi-  
täten  
Ober-  
Grund-  
tur von  
betrieb  
es Spei-  
onen-

**Wärmerohr (Heat Pipe).** Ein W. (engl. heat pipe) ist eine Apparatur mit sehr hohen effektiven Wärmetransporteigenschaften, die durch die Kombination von →Verdampfung und →Kondensation in einem geschlossenen Gefäß erreicht werden.

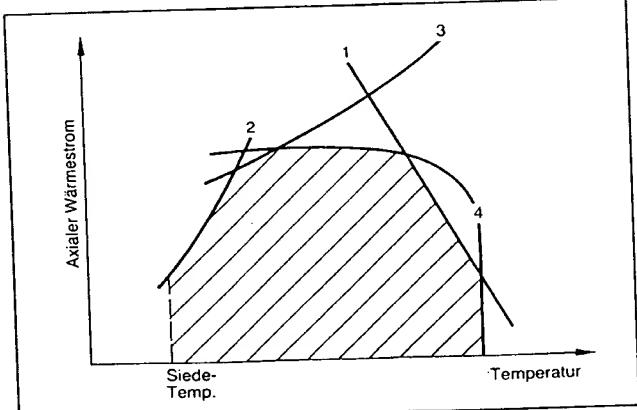
Den Aufbau und die Funktion eines W. zeigt Bild 1. Das W. weist eine *Verdampfungszone*, eine



Wärmerohr 1: Schematische Darstellung.  
Heat pipe 1: Schematic representation

Transportzone und eine Kondensationszone auf. Im Bereich der Verdampfungs- oder Heizungszone wird dem evakuierten W. Wärme zugeführt. Dabei verdampft der in seinem Inneren befindliche Wärmeträger und strömt mit großer Geschwindigkeit über die Transportzone der Kondensations- oder Kühlzone zu. Hier findet die Wärmeabgabe an das umgebende Medium statt. Das →Kondensat fließt schließlich über eine Kapillarstruktur wieder der Verdampfungszone zu. Als Kapillaren kommen Drahtgewebe oder Rillen bzw. Vertiefungen in der inneren Tragstruktur zum Einsatz. Bei der Auswahl der Materialien spielen Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit eine entscheidende Rolle.

Eine typische Eigenschaft des Wärmerohres ist seine hohe Wärmeübertragungsleistung. Vergleicht man das W. mit einem homogenen Metallstab, so ist seine scheinbare Wärmeleitfähigkeit bis zu 10 000mal so hoch wie die eines guten metallischen Leiters. Deshalb werden W. dort eingesetzt, wo Aggregate mit hohen Wärmestromdichten gekühlt werden müssen. Die geringen Temperaturunterschiede zwischen der Verdampfungs- und Kondensationszone ermöglichen den Ausgleich auch kleiner Temperaturdifferenzen. Damit können z. B. Wärmespannungen innerhalb von Bauteilen vermieden werden. Dem kontinuierlichen Betrieb eines W. sind dann Grenzen gesetzt, wenn der notwendige Druckabfall die Kapillardruckdifferenz übersteigt, die kritische Wärmestromdichte an der Heizzone erreicht wird oder wenn die Schallgeschwindigkeit des Dampfes auftritt (Bild 2). Störungsfreier Betrieb eines W. ist möglich bei waagerechter bzw. geneigter Lage, wenn sich die Kondensationszone oberhalb der Heizzone befindet und so eine Addition von Kapillar- und Schwerkraft vorhanden ist. Um Anlaufschwierigkeiten zu vermeiden, sollte eine leichte Neigung des Elementes vorhanden sein. Trocknet das Wärmerohr in der



Wärmerohr 2: Einengung des Arbeitsbereiches durch Randbedingungen.

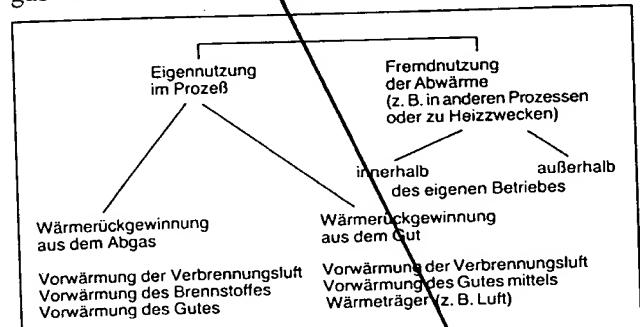
1 Grenze durch Wärmestromdichte, 2 Grenze durch Schallgeschwindigkeit, 3 Grenze durch Scherwirkung zwischen Dampf und Flüssigkeitsströmung, 4 Grenze durch Kapillarkraft

Heizzone aus, kann dies bei aufgeprägter Wärmestromdichte zur Zerstörung führen (burn out).  
W. Köhler

Literatur: Asselmann, G. A. A. u. D. B. Green: Das Wärmerohr – I. Arbeitsweise und Eigenschaften. Philips techn. Rundschau 33 (1973/74) Nr. 4, S. 108–117. – Cotter, T. P.: Theory of Heat Pipes. Los Alamos, N. M., USA: Los Alamos Sci. Lab. Rep. LA-3246-MS 1965. – Dunn, P. u. D. A. Reary: Heat Pipes. Third Edition. Pergamon Press 1982. – Moritz, K. u. R. Pruschek: Grenzen des Energietransportes in Wärmerohren. Chemie-Ing.-Technik 41 (1969) Nr. 1 u. 2, S. 30–37. – Reay, D. A.: Advances in Heat Pipe Technology. Pergamon Press 1982. – Zimmerman, P. u. R. Pruschek: Grundlagen und industrielle Anwendung von Wärmerohren. Dechema-Monographien Bd. 65, Nr. 1168–1192, S. 67–84.

### Wärmerückgewinnung.

**Industrieöfen.** Die verschiedenen Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung in Ofenprozessen werden im Bild veranschaulicht. Zunächst ist zwischen der Eigennutzung der →Abwärme im Prozeß selbst und der Fremdnutzung in anderen Prozessen zu unterscheiden. Die Eigennutzung der Abwärme ist jedoch immer vorzuziehen, da nur so der →Primärenergieverbrauch des betreffenden Prozesses vermindert werden kann. Eine solche Energierückführung setzt allerdings häufig wesentliche Änderungen der Prozeßführung voraus. Für die Fremdnutzung stehen geeignete Wärmeverbraucher im eigenen Betrieb nur selten in erforderlichem Umfang zur Verfügung oder können außerhalb meist aus wirtschaftlichen Gründen nicht gefunden werden. Bei der Eigennutzung von Abwärme kann man zwischen der Wärmerückgewinnung aus dem →Abgas und der aus dem Gut unterscheiden (Bild).



Wärmerückgewinnung, Industrieöfen: Möglichkeiten der W. in Ofenprozessen.

Bei der erstgenannten Gruppe handelt es sich um eine Wärmerückgewinnung durch Vorwärmung der Verbrennungsluft bzw. manchmal auch des Brennstoffs sowie um eine Nutzung der Abwärme durch Vorwärmung des Gutes. Zur zweiten Gruppe zählen hingegen Prozesse, bei denen die Verbrennungsluft unter Nutzung der Kühlwärme vorgewärmt oder bei denen die Abwärme aus dem Kühlprozeß mit Hilfe von meist gasförmigen Wärmeträgern zur Vorwärmung des Gutes verwendet wird. Die Nutzung von

# **ENCLOSURE 3**

**Russian edition of US reference book :**

**[Справочник по теплообменникам в двух томах, т. 2, Москва,  
Энергоатомиздат, 1987.]**

**This reference book is a translation from English of the book:**

**[Heat Exchanger Design Handbook, 1983, Hemisphere Publishing  
Corporation.]**

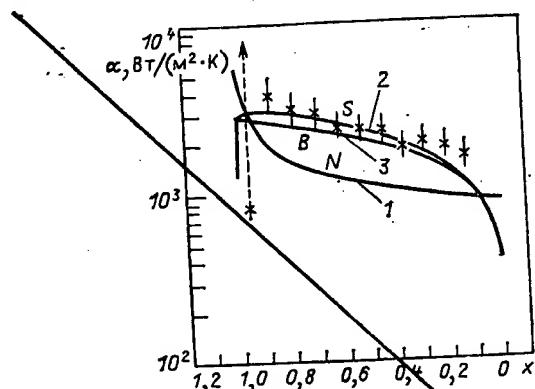


Рис. 1. Коэффициент теплоотдачи при конденсации азота в зависимости от массовой доли пара [давление 2,37 кПа, массовый поток 58,5 кг/(м<sup>2</sup>·с), тепловой поток 8,26 кВт/м<sup>2</sup>]: — результаты измерения; — результаты расчета

рами. В этой модели также учитывается влияние трения на границе раздела фаз.

Расхождение результатов коэффициентов теплоотдачи и экспериментальных данных не превышает 20%.

В [39] приведены результаты измерения коэффициентов теплоотдачи при испарении азота [39] и теплоносителя R-11 [40] с поверхности со смещеными ребрами, имеющей 591 ребро на 1 м. На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость коэффициентов теплоотдачи от числа Рейнольдса ( $Re_L = D_h G / \eta_L$ ) и паросодержания в качестве параметра. Авторы работы пришли к выводу, что при экспериментах отсутствовало пузырьковое кипение и

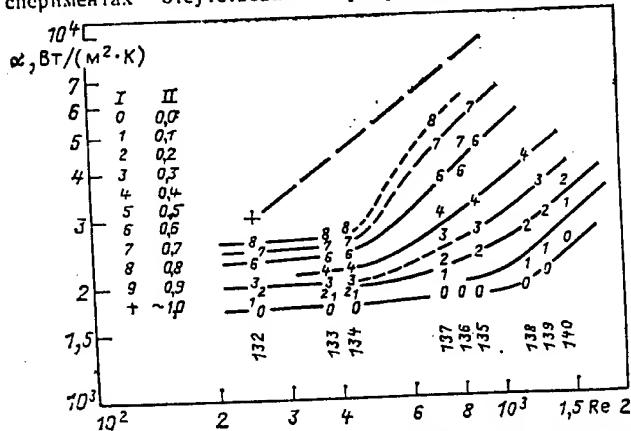


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи при кипении от числа Рейнольдса ( $D_h G / \eta_L$ ) для теплоносителя R-11

теплота передавалась преимущественно конвекцией. При  $800 < Re_L < 1600$  коэффициенты теплоотдачи не зависели от  $Re$ . Выше значений  $Re_L$ , соответствующих переходной области, коэффициенты теплоотдачи были пропорциональны  $Re_L^{0.8}$ . Из экспериментальных данных также следует, что интервалы  $Re_L$ , соответствующих переходной области, при кипении азота и теплоносителя R-11 совпадают.

В [38] приведены результаты исследования испарения аммиака на поверхности со смещеными ребрами. Авторы предположили, что их аналитическая модель конденсации применима также к испарению тонкой жидкой пленки. Расхождение результатов расчета по этой модели коэффициентов теплопередачи и экспериментальных данных не превышает 5%. Поскольку в этой модели не учитывается возможность срыва пленки жидкости, возможность ее применения ограничена критическими значениями  $Re$ , при которых наступит этого срыва. Авторы считают, что критическое значение  $Re \approx 1000$ . Результаты расчетов на этой модели не очень хорошо совпадают с экспериментальными данными, приведенными в [39].

### Принятые обозначения

$a$  — толщина пластины, меньшая сторона сечения канала прямоугольной формы;  $A$  — общая площадь теплообменной поверхности по одной стороне;  $A_c$  — минимальная площадь проходного сечения свободного потока в теплообменнике;  $A_f$  — общая площадь поверхности ребер;  $A_{fr}$  — площадь фронтального сечения теплообменника;  $b$  — расстояние между пластинами, большая сторона сечения канала прямоугольной формы;  $C$  — произведение расхода на теплоемкость (водяной эквивалент);  $C_c$ ,  $C_h$  — водяной эквивалент по горячей и холодной стороне, соответственно;  $C_{min}$ ,  $C_{max}$  — минимальное и максимальное значение из  $C_c$  и  $C_h$  соответственно;  $G$  — массовая скорость потока;  $L$  — общая длина потока в теплообменнике, длина ребра для поверхности со смещеными ребрами;  $m = \sqrt{2\alpha/k_0}$  — параметр эффективности ребра;  $s$  — расстояние между центрами стержневых ребер;  $\alpha^*$  — отношение  $b/a$  для прямоугольного канала;  $\beta$  — отношение общей теплообменной поверхности по одной стороне к объему между пластинами по этой же стороне;  $\gamma$  — отношение теплообменной поверхности к объему теплообменника;  $P$  — затраты мощности на прокачку, отнесенные к единице теплообменной поверхности;  $R = (\dot{M}C_p)_{min}/(\dot{M}C_p)_{max}$ ;  $\delta$  — толщина ребра;  $\epsilon$  — эффективность теплообменника;  $\eta_f$  — эффективность ребра;  $\sigma$  — отношение площади проходного сечения свободного потока к площади фронтального сечения теплообменника  $A_c/A_{fr}$ .

### Индексы

$fd$  — стабилизированные значения параметров;  $m$  — средние значения;  $1$ ,  $2$  — горячая, холодная сторона, вход, выход.

## Раздел 3.10 ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ

### Чизхолм

#### 3.10.1. Введение

Тепловые трубы (рис. 1, а) представляют собой замкнутую систему, в которой теплота передается посредством кипения жидкости в одной точке и конденсации в другой.

Жидкость возвращается в зону кипения под действием капиллярных сил через пористую среду. Именно использование капиллярных сил является характерной особенностью тепловых труб.

С тепловыми трубами тесно связаны двухфазные тер-

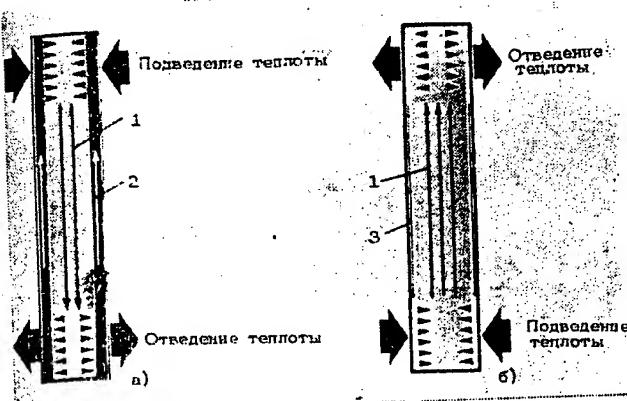


Рис. 1. Термосифон (а) и термосифон (б):

1 — пар; 2 — капиллярная структура; 3 — конденсат, стекающий под действием силы тяжести

термосифоны (рис. 1, б), где конденсат возвращается в зону испарения под действием гравитационных сил, а не капиллярных, как в тепловых трубах. Поэтому в термосифонах зона испарения должна быть расположена ниже зоны конденсации, тогда как в тепловых трубах зона испарения может быть ориентирована произвольно по отношению к зоне конденсации. В тепловых трубах возможна даже передача теплоты в направлении, противоположном направлению силы гравитации.

При условии, что градиент давления в паре мал, градиенты температур идоль тепловых труб также могут быть невелики, что приводит к высоким значениям теплопроводности. Эффективная теплопроводность таких устройств может превышать в 1000 раз теплопроводность медного стержня такого же размера. В тепловых трубах с литием в качестве рабочей жидкости и при температуре 1500 °С в качестве рабочей жидкости и при температуре 1500 °С измеренные значения тепловых потоков составляли 15 кВт/см<sup>2</sup>. Тепловые трубы, в которых передача теплоты происходит в направлении, противоположном силам гравитации, могут иметь максимальную длину около 40 см при использовании существующих пористых наполнителей.

Первая статья по тепловым трубам была опубликована в 1964 г. [1]. Когда автор этого раздела работал над книгой по тепловым трубам [2], в его распоряжении было 152 статьи. В настоящее время должно быть опубликовано более 1000 статей и имеются еще две монографии [3, 4].

Кроме высокой эффективной теплопроводности тепловые трубы обладают также гибкостью, могут функционировать как тепловой диод и преобразователь теплового потока, имеют изотермическую поверхность. Поэтому тепловые трубы находят широкое применение в различных отраслях промышленности (табл. 1).

### 3.10.2. Циркуляция и передача теплоты

Во всех точках вдоль тепловой трубы перепад статического давления фаз на границе раздела паровой и жидкой фаз уравновешен локальной разностью давлений в капиллярах. Условия равновесия имеют вид

$$p_v - p_l = 2\sigma \cos \alpha / r. \quad (1)$$

Поверхность раздела фаз имеет в системе капилляров такой вид, который обеспечивает приведенные условия равновесия, т. е. поверхность раздела фаз будет существовать только в порах радиусом  $r$ .

На рис. 1 показано изменение давления, расхода и уровня раздела фаз вдоль тепловой трубы. Максимальная

Таблица 1. Применение тепловых труб в различных отраслях науки и техники, в том числе в отдельных процессах и элементах оборудования

| Сфера применения   | Литература |
|--|------------|
| Температурный режим батарей                                | [5]        |
| Биология   | [6, 7]     |
| Тормозные системы  | [8]        |
| Газификация углей  | [9, 10]    |
| Охлаждение электронного оборудования                       | [12—14]    |
| Криохирургия   | [15]       |
| Размораживание   | [16—18]    |
| Литейное производство                                      | [19, 20]   |
| Бытовые приборы  | [21]       |
| Сушка  | [22]       |
| Электродвигатели   | [23, 24]   |
| Хранение энергии и конверсия                               | [25—28]    |
| Сушка волокон  | [29]       |
| Пищевая промышленность                                     | [11, 31]   |
| Подготовка топлива   | [32, 33]   |
| Газовые турбины  | [34, 35]   |
| Использование теплоты Земли                                | [36]       |
| Производство стекла  | [37, 38]   |
| Восстановление тепла                                       | [22, 29]   |
| Контрольно-измерительные приборы                           | [40]       |
| Лазеры   | [41]       |
| Ядерная энергетика:  |            |
| реакторы   | [42—45]    |
| экспериментальные исследования                             | [46]       |
| Производство стали   | [37]       |
| Печи   | [48—50]    |
| Стабилизация вечной мерзлоты                               | [51—53]    |
| Плазменная резка   | [54]       |
| Рекуператоры   | [55—56]    |
| Охлаждение ракетных двигателей                             | [57]       |
| Космическая техника  | [58—60]    |
| Машины Стирлинга   | [30, 61]   |
| Солнечные коллекторы                                       | [62—65]    |
| Термическое бурение  | [66]       |
| Термийоника  | [67]       |
| Различное оборудование, применяемое в тропических условиях | [68]       |
| Кондиционирование воздуха и вентиляция                     | [22, 69]   |
| Использование тепловых отходов                             | [70—72]    |

циркуляция возникнет, когда отсутствует разность между давлениями фаз в одной точке (в иллюстрируемом случае эта точка соответствует концу зоны конденсации), тогда как в испарителе существует граница раздела фаз в сечении, в котором радиус капилляров наименьший. Тогда разность давлений в капиллярах вдоль длины тепловой трубы

$$\Delta p_\sigma = 2\sigma \cos \alpha / r_\sigma. \quad (2)$$

Если разность давлений в капиллярах не равна нулю в конце зоны конденсации трубы, разность давлений, создаваемая капиллярными силами,

$$\Delta p_\sigma = 2\sigma \left( \frac{\cos \alpha_\sigma}{r_\sigma} - \frac{\cos \alpha_c}{r_c} \right). \quad (3)$$

Капиллярная разность давлений в стационарном состоянии уравновешивается трением, изменением количества движения и гравитационной разностью давлений в фазах. Это можно выразить в виде

$$-\Delta p_\sigma = \Delta p_v + \Delta p_l, \quad (4)$$

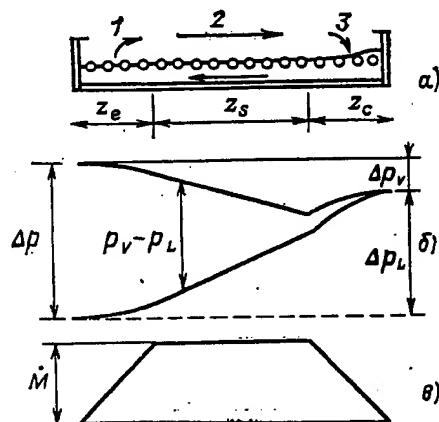


Рис. 1. Изменение уровня поверхности раздела (а), статического давления (б) и массового потока вдоль тепловой трубы (в):  
1 — испаритель; 2 — участок транспорта жидкости; 3 — конденсатор

причем  $\Delta p$  означает увеличение давления в направлении потока фазы (по всей длине тепловой трубы, если не оговорено обратное).

Разность статического давления в жидкости может быть записана как

$$\Delta p_t = \Delta p_{f1} + \Delta p_g. \quad (5)$$

Разность давления, обусловленная изменением импульса, пренебрежимо мала для жидкостей. Разность давления, вызванная трением при капиллярном течении в пористой среде, может быть выражена в виде

$$\Delta p_{f1} = -\frac{\eta_t \dot{M} Z_{eff}}{\rho_t K A}. \quad (6)$$

Вследствие малых размеров пор в наполнителях течение, как правило, ламинарное. Следует отметить, что здесь используется эффективная длина  $Z_{eff}$ , что позволяет учесть изменение массовой скорости на участках испарения и конденсации (рис. 1). Если предположить, что скорость испарения и конденсации на соответствующих участках одинакова, можно показать, что

$$Z_{eff} = Z_s + \frac{1}{2} (Z_t + Z_c). \quad (7)$$

Разность давления вследствие действия гравитационных сил

$$\Delta p_g = -g \rho_t Z \sin \theta. \quad (8)$$

Угол  $\theta$  изменяется от 0 до  $180^\circ$ , причем угол  $180^\circ$  соответствует положению трубы, при котором испаритель находится выше конденсатора и жидкость течет вверх.

Из (5), (6) и (8) следует

$$\Delta p_t = -\frac{\eta_t \dot{M} Z_{eff}}{\rho_t K A} - g \rho_t Z \sin \theta. \quad (9)$$

Если перепад давления в паре пренебрежимо мал, из (2), (4) и (9) следует выражение для максимального расхода при циркуляции

$$\dot{M} = \frac{\sigma p_t \cos \alpha}{\eta_t} \frac{K A}{Z_{eff}} \left( \frac{2}{r_\sigma} - \frac{g \rho_t Z \sin \theta}{\sigma \cos \alpha} \right). \quad (10)$$

Мощность тепловой трубы

$$Q = \dot{M} \Delta h_o. \quad (11)$$

При отсутствии сил тяжести и при обычном предположении, что имеет место идеальное смачивание ( $\cos \alpha = 1$ ),

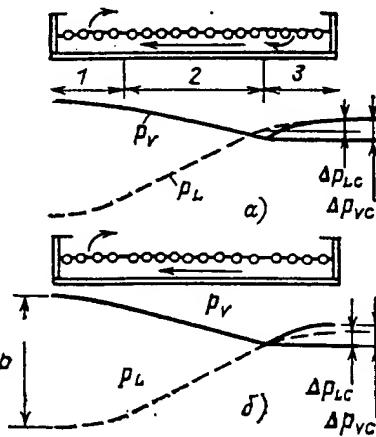


Рис. 2. Изменение статического давления и уровня поверхности раздела при  $\Delta p_{vc} > -\Delta p_{lc}$ :

а — нестабильная ситуация при  $\Delta p_{vc} > -\Delta p_{lc}$ ; б — стабильная ситуация при  $\Delta p_{vc} > -\Delta p_{lc}$ ; 1 — испаритель; 2 — участок транспорта жидкости; 3 — конденсатор

(11) с учетом (10) принимает вид

$$Q = 2 \frac{\sigma p_t \Delta h_o}{\eta_t} \frac{K A}{r_\sigma Z_{eff}}. \quad (12)$$

Следует отметить, что первый сомножитель в правой части (12) характеризует только свойства жидкости, тогда как второй определяет свойства пористого наполнителя. Это удобно при выборе рабочей жидкости и наполнителя.

На практике капиллярная разность давления часто находится измерением так называемой высоты поднятия жидкости в капилляре (высоты, на которую поднимается жидкость в пористом наполнителе в поле тяжести и при отсутствии трения)

$$Z_r = \frac{\Delta p_\sigma}{\rho_t g}. \quad (13)$$

Используя (13), уравнение (10) можно записать в виде

$$Q = \frac{g \rho_t^2 \Delta h_o K A Z_r}{\eta_t Z_{eff}}, \quad (14)$$

а (12) в виде

$$Q = \frac{g \rho_t^2 \Delta h_o K A Z_r}{\eta_t Z_{eff}}. \quad (15)$$

На рис. 2 изображен случай, когда  $\Delta p_{lc} > -\Delta p_{vc}$ , т. е. когда восстановление давления в направлении потока пара меньше, чем перепад давления в направлении потока жидкости.

Если  $\Delta p_{vc} > -\Delta p_{lc}$ , граница раздела фаз и точка, в которой кривизна поверхности раздела фаз равна нулю, находятся в конце конденсатора, то распределение давления имеет вид, показанный на рис. 2, а. При входе пара в зону конденсации  $p_t$  больше, чем  $p_v$ , следовательно, в этой точке неизбежно возникла бы выпуклая поверхность, как показано на рис. 2, а. Этого не происходит при нормальных условиях смачивания поверхности, и возникает равновесное распределение давления (рис. 2, б). В этом случае капиллярная разность давления уравновешивается перепадом давления на участках испарения и транспорта жидкости. При прочих равных условиях в таком случае циркуляция будет выше. В табл. 1 приведены ссылки на литературу, в которой эти вопросы рассмотрены более подробно.

## § 3.10.3 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Таблица 1. Литература по отдельным проблемам тепловых труб.

| Тема   | Литература          |
|--|---------------------|
| 1. Монографии и общие вопросы                            | [2—4, 74, 75]       |
| 2. Циркуляция и передача теплоты                         |                     |
| Срыв жидкости паром                                      | [76]                |
| Затопление капиллярных структур                          | [77, 78]            |
| Сдвиг на границе раздела фаз                             | [79, 88]            |
| Частично насыщенные наполнители                          | [81]                |
| Сверхзвуковые потоки                                     | [82]                |
| Число Маха двухфазного потока                            | [83]                |
| Паровой удар   | [84]                |
| Перепад давления в паре                                  | [85—88]             |
| 3. Распределение температур и радиальные тепловые потоки |                     |
| Конденсация  | [89, 90]            |
| Осушение   | [91, 92]            |
| Эффективная теплопроводность наполнителя                 | [93—95]             |
| Испарение  | [84, 96—102]        |
| Неравномерный нагрев                                     | [103, 104]          |
| Распределение температур                                 | [105, 106]          |
| 4. Продольная передача теплоты и условия эксплуатации    |                     |
| Конструирование тепловых труб                            | [107—110]           |
| Влияние пористости                                       | [111—117]           |
| Общие вопросы  | [73, 87, 118—120]   |
| Минимальные ограничения                                  | [121]               |
| Цеускайчивые состояния                                   | [122—126]           |
| Условия эксплуатации                                     | [127—129]           |
| Оптимизация  | [117—130]           |
| Вращение тепловых труб                                   | [131—132]           |
| 5. Выбор рабочей жидкости                                |                     |
| Контактные углы  | [133]               |
| Общие вопросы  | [134—135]           |
| Высокие температуры                                      | [41, 136, 137]      |
| Низкие температуры                                       | [133]               |
| Смачивающие агенты                                       | [138]               |
| 6. Характеристики наполнителей                           |                     |
| Пористые среды   | [139, 140, 141—147] |
| Капиллярные силы   | [148—149]           |
| Общие вопросы  | [150—153]           |
| Размещение в тепловых трубах                             | [154—155]           |
| Однородная пористость                                    | [156]               |
| Канавки, прорези   | [128—157]           |
| Частичное насыщение                                      | [81]                |
| Сопротивление жидкому потоку                             | [81, 150, 158—160]  |
| Двухфазные потоки в пористых телах                       | [25, 161—163]       |
| 7. Общие вопросы запуска                                 | [164—170]           |
| 8. Управление  |                     |
| Постоянная температура                                   | [5, 71, 171, 172]   |
| Устройства   | [173]               |
| Диоды  | [174, 175]          |
| Электрическая обратная связь                             | [176, 177]          |
| Управление газом   | [71, 109, 178—184]  |
| Общие вопросы  | [185—186]           |
| Теплообменники из тепловых труб                          | [56, 185]           |
| Тепловое переключение                                    | [173, 187]          |
| 9. Совершенствование, изготовление, срок эксплуатации    | [190—193]           |
| Совместимость  |                     |

Продолжение табл. 1

| Тема                                       | Литература                 |
|--|----------------------------|
| Керамические тепловые трубы                | [194]                      |
| Соответствующие стенки                     | [195]                      |
| Совершенствование                          | [146, 196]                 |
| Взрывы                                     | [197]                      |
| Гибкость                                   | [154]                      |
| Перемещение газа                           | [198]                      |
| Общие вопросы                              | [135]                      |
| Высокие температуры                        | [41, 136, 137]             |
| Срок эксплуатации                          | [10, 190, 199, 200]        |
| Низкие температуры                         | [133]                      |
| Изготовление                               | [201—204]                  |
| Выбор материала                            | [9, 27, 191, 205, 206]     |
| 10. Смежные вопросы                        |                            |
| Теплообменники с тепловыми трубами         | [22, 55, 56, 194, 207—209] |
| Восстановление тепла                       | [35, 72]                   |
| Тепловые трубы с вспомогательной подкачкой | [212]                      |
| Жидкие ребра                               | [213]                      |
| Осмотические тепловые трубы                | [214, 215]                 |
| Фотохимические тепловые трубы              | [216]                      |
| Вращающиеся тепловые трубы                 | [131, 217, 29]             |
| Термосифоны                                | [51, 185, 218, 219, 211]   |

## 3.10.3. Распределение температуры и радиальный тепловой поток

На рис. 1 схематически показано изменение температуры жидкости в процессе циркуляции в тепловой трубе. Начиная с конца зоны конденсации и по направлению течения температура жидкости на поверхности уменьшается до тех пор, пока жидкость не достигнет выхода из конденсатора. На участке транспорта жидкости температура жидкости увеличивается в результате передачи теплоты от пара. В испарителе температура быстро возрастает при передаче теплоты через стенку, пока не достигнет значений, больших, чем температура пара. Так как давление жидкости в испарителе ниже, чем давление пара в результате действия капиллярных сил, температура насыщения жидкости ниже температуры насыщения пара. Таким образом, в испарителе жидкость находится при температуре выше ее температуры насыщения. Кипение подавляется

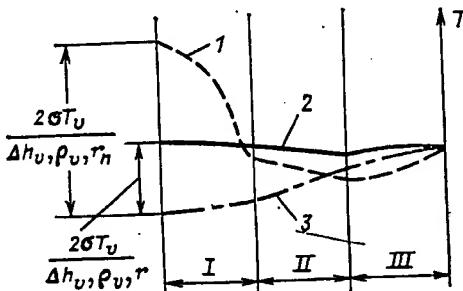


Рис. 1. Распределение температуры жидкости и пара:  
1 — жидкость на поверхности стенки; 2 — пар; 3 — температура насыщения жидкости; I — испаритель; II — зона транспорта жидкости; III — конденсатор

Таблица 1. Эффективная теплопроводность наполнителей [3]

| Структура наполнителей                               | $\lambda_t$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)   |
|--|--|
| Чередование жидкости и пористой среды                | $\frac{\lambda_t \lambda_w}{\varepsilon \lambda_w + (1 - \varepsilon) \lambda_t}$  |
| Жидкость и пористая среда, расположенные параллельно | $\varepsilon \lambda_t + (1 + \varepsilon) \lambda_w$  |
| Свернутый экран                                      | $\frac{\lambda_t [(\lambda_t + \lambda_w) - (1 - \varepsilon) (\lambda_t - \lambda_w)]}{(\lambda_t + \lambda_w) + (1 - \varepsilon) (\lambda_t - \lambda_w)}$    |
| Сфера в плотной упаковке                             | $\frac{\lambda_t [(2\lambda_t + \lambda_w) - 2(1 - \varepsilon) (\lambda_t - \lambda_w)]}{(2\lambda_t + \lambda_w) + (1 - \varepsilon) (\lambda_t - \lambda_w)}$ |
| Прямоугольные пазы                                   | $\frac{(\omega, \lambda, \lambda_w, \delta + w\lambda_t) (0,185\omega, \lambda_w + \delta\lambda_t)}{(\omega + w_t) (0,185\omega, \lambda_t + \delta\lambda_t)}$ |

действием сил поверхностного натяжения на центры парообразования при условии, что разность температур в наполнителе меньше, чем

$$T_{wP} - T_{wV} = \frac{T_v}{\Delta h_v \rho_v} \left( \frac{2\sigma}{r_n} - \frac{2\sigma}{r_t} \right). \quad (1)$$

После выхода пара из испарителя его температура падает по всему тракту потока, при этом уменьшаются давление и подвод теплоты к жидкости. Небольшая часть пара конденсируется при определенных условиях до поступления в конденсатор. В зоне конденсации может быть небольшое увеличение температуры, связанное с ростом давления пара. Так как изменение давления вдоль всего пути пара невелико, градиент температур в паровой фазе, как правило, также невелик в абсолютном выражении (менее 2 К).

Эффективная теплопроводность некоторых типов насыщенных пористых структур приведена в табл. 1. Радиальный тепловой поток в испарителе определяется тогда из соотношения

$$q = \lambda_t (T_{wP} - T_{wV}). \quad (2)$$

Аналогичное уравнение получается и для конденсатора, но с противоположным знаком. Из (1) и (2) следует, что значение максимального теплового потока, при котором не наступает испарение в капиллярной структуре, равно:

$$q = \frac{\lambda_t T_v}{\Delta h_v \rho_v} \left( \frac{2\sigma}{r_n} - \frac{2\sigma}{r_t} \right). \quad (3)$$

Для многих пористых структур это значение может быть превышено, поскольку жидкость частично проникает в пористую структуру и существенно уменьшает ее толщину. Это, однако, имеет отрицательную сторону — уменьшается проходное сечение для жидкости и ее циркуляция.

#### 3.10.4. Ограничения мощности

Мощность, передаваемая тепловыми трубами, может быть ограничена по следующим соображениям:

- скорость пара не должна превышать звуковую или скорость запирания;
- необходимо избегать уноса жидкости паром (в противном случае в испарителе будет недостаток жидкости);
- в пористой среде не должно быть кипения;

скорость циркуляции  $q$  имеет предел для данной жидкости.

На рис. 1 схематически показано [108], как эти четырех ограничивающих фактора определяют область рабочих параметров тепловых труб данной конструкции. При низком давлении звуковая скорость может быть ограничивающим фактором, так как плотность пара невелика (область 1-2). В области 2-3 перенос теплоты ограничен уносом жидкости паром. В области 3-4 ограничение на мощность обусловлены капиллярными эффектами. В области 4-5 продольный перенос теплоты ограничен кипением внутри наполнителя. На практике рабочие параметры выбираются внутри области 3-4.

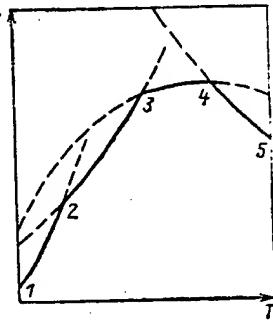


Рис. 1. Условия эксплуатации тепловых труб

#### 3.10.5. Выбор рабочей жидкости

Рабочая жидкость должна иметь следующие свойства: высокое поверхностное натяжение для эффективного использования капилляров; хорошие характеристики смачивания по тем же соображениям;

- низкую вязкость;
- высокие значения теплоты фазового перехода;
- высокую теплопроводность для передачи теплоты от жидкости к наполнителю;
- температуры кипения и замерзания в пределах рабочих температур;
- высокую плотность;
- совместимость с наполнителем и стенками трубы в отношении коррозии;
- химическую стабильность.

Уравнение (12), § 3.10.2, содержит комбинацию свойств, которая может быть определена как фактор переноса, который может быть определен как фактор переноса.

Таблица 1. Рабочие жидкости и их характеристики

| Интервал рабочих температур, °C | Рабочая жидкость | Свойства при атмосферном давлении |                                    | Материал для кожуха и наполнителя   |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|                                 |                  | Температура кипения, °C           | Фактор переноса $10^{-7} (kW/m^2)$ |                                     |
| -200 ÷ -170                     | Азот             | -196                              | 0,9                                | Нержавеющая сталь                   |
| -70 ÷ +50                       | Аммиак           | -33                               | 10                                 | Нержавеющая сталь, никель, алюминий |
| -60 ÷ +40                       | Фреон-12         | -30                               | 1                                  | Нержавеющая сталь, медь             |
| -30 ÷ +100                      | Метанол          | 65                                | 5                                  | Медь                                |
| 10 ÷ 200                        | Вода             | 100                               | 50                                 | Медь, никель                        |
| 190 ÷ 500                       | Ртуть            | 356                               | 200                                | Нержавеющая сталь                   |
| 400 ÷ 800                       | Калий            | 760                               | 50                                 | То же                               |
| 500 ÷ 900                       | Натрий           | 883                               | 200                                | »                                   |
| 900 ÷ 1500                      | Литий            | 1330                              | 800                                | Тантал, TZM                         |

носа ж: фактора  
Фактор

$$N = \frac{\sigma}{\rho}$$

где  $\sigma$  —  
вого пер-  
кости.  
В т  
бочие ж  
свойств:

#### 3.10.6.

Пер-  
использ-  
такие м-  
тала и  
гомоген-  
матриа-  
капилль-

На  
пилляр-  
трубы т-  
со стен-  
обеспеч-  
нок и к-  
налы и  
структур-  
Преиму-  
уменьш-  
катору-  
размер-  
без сущ-  
В [196]  
с капи-  
которы-  
труб.

Не-  
тур по-  
ляется  
ляют п-  
ния в  
ют низ-  
На  
тивлен-

Рис. 1.  
— газ-  
лы и эх-  
для кр-  
хапилл

### § 3.10.6 ХАРАКТЕРИСТИКИ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР

носа жидкости [107], так как чем выше значение этого фактора, тем выше скорость циркуляции в тепловой трубе. Фактор переноса определяется как

$$N = \frac{\sigma \eta \Delta h_p}{\eta_L}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение;  $\Delta h_p$  — теплота фазового перехода на единицу объема;  $\eta_L$  — динамическая вязкость.

В табл. 1 приведены наиболее распространенные рабочие жидкости, их факторы переноса и некоторые другие свойства.

#### 3.10.6. Характеристики капиллярных структур

Первоначальные капиллярные структуры, которые использовались в тепловых трубах, представляли собой такие материалы, как ткань, стекловолокно, пористый металл и проволочная сетка. Эти структуры будем считать гомогенными, чтобы отличать их от комбинаций различных материалов, которые будем называть композиционными капиллярными структурами.

На рис. 1, а схематически показана гомогенная капиллярная структура. Фитиль прилегает к стенке тепловой трубы таким образом, чтобы обеспечить хороший контакт со стенкой в зоне передачи теплоты. Хороший контакт обеспечивает удовлетворительную теплопередачу от стенок и к стенкам тепловой трубы. Используются также каналы на стенах (рис. 1, б). Более усовершенствованную структуру представляют собой тонкие экраны (рис. 1, в). Преимущество такой конструкции заключается в том, что уменьшается узел жидкости, текущей в фитиле, паром, который движется из испарителя тепловой трубы к конденсатору. Более важно, что экран может иметь поры малого размера и это позволяет увеличить капиллярный потенциал без существенного увеличения сопротивления в каналах. В [196] приведены результаты испытаний тепловых труб с капиллярной структурой, изображенной на рис. 1, б, в, которые показали улучшение характеристик тепловых труб.

Несколько других конструкций капиллярных структур показано на рис. 1, г — з. Структура на рис. 1, з является примером использования артерий, которые позволяют получить низкие сопротивления и перепады давления в жидкости. Структуры на рис. 1, д — ж также имеют низкие сопротивления для течения жидкости.

На рис. 1, ж, в проходы или артерии с низким сопротивлением для потока прымкают к стенке, и их недостат-

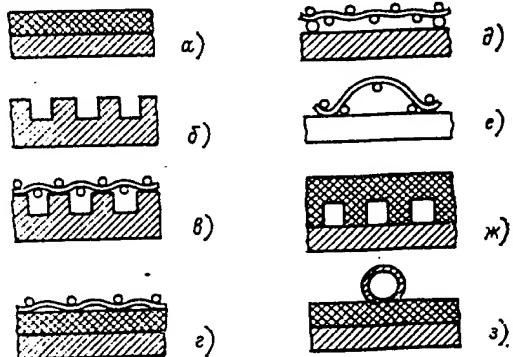


Рис. 1. Капиллярные структуры:  
а — гомогенная капиллярная структура; б — каналы и экраны; в — сетки и экраны; г — экран и кольцевой канал для круглых тепловых труб; д — гофрированный экран; е — капиллярная структура с каналами; ж — артерии

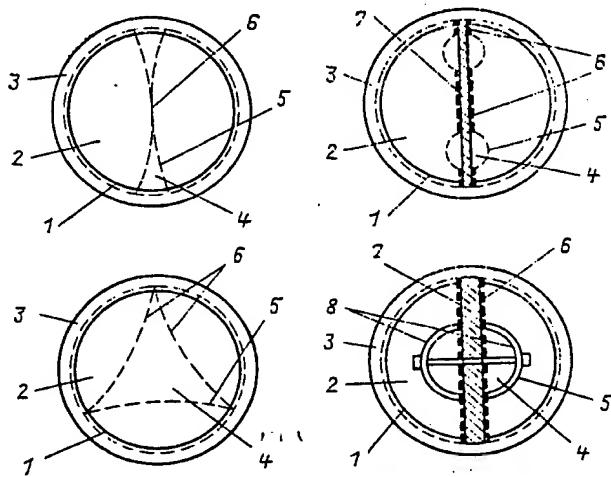


Рис. 2. Тепловые трубы с артериями [144]:  
1 — внутренняя поверхность стенки; 2 — паровая зона; 3 — капилляры; 4 — артерия для жидкости; 5 — сетка; 6 — стекло; 7 — опоры; 8 — разрезанная труба без капилляров

ком является то, что в них может возникнуть кипение. На рис. 2 представлено поперечное сечение некоторых капиллярных структур, для которых этой проблемы можно избежать [144].

На рис. 3 показаны другие формы артерий [142]. Как видно на этих рисунках, большое значение имеет то, что во всех точках артерий изолированы от пара. В этом случае в артерии могут преобладать следующие механизмы: действие капиллярных сил, конденсация пара; подъем давления в паровой зоне нагрева, вызванный паром, который сжимается в артерии и замещается жидкостью, при этом остаток пара удаляется с обогреваемой поверхности.

В трубе, изображенной на рис. 3, давление в артерии будет ниже давления в паровой зоне. Устройство отверстий в поверхности артерии позволяет пару проникнуть в трубу

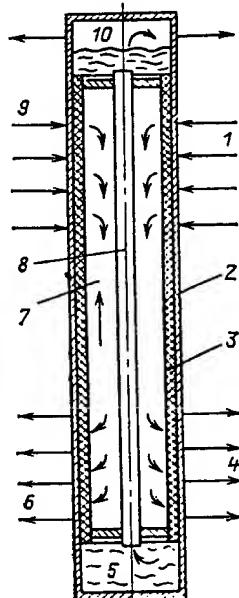


Рис. 3. Тепловая труба с коллектором и системой артерий:  
1 — испаритель; 2 — стенка трубы; 3 — капиллярная структура; 4 — конденсатор; 5, 10 — коллекторы; 6, 9 — пластины коллектора; 7 — паровая зона; 8 — артерии

и образовать там двухфазную смесь. При работе против сил гравитации это добавит движущие силы естественной циркуляции к капиллярным силам [25, 161].

### Принятые обозначения

$A$  — площадь поперечного сечения капиллярной структуры,  $\text{м}^2$ ;  $h_v$  — теплопоток фазового перехода,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  $K$  — проницаемость,  $\text{м}^3$ ;  $N$  — фактор переноса,  $\text{kВт}/\text{м}^3$ ;  $\Delta p_{fl}$  — разность давлений, обусловленная трением в жидкости,  $\text{Па}$ ;  $\Delta p_g$  — разность давлений, обусловленная гравитацией,  $\text{Па}$ ;  $\Delta p_t$  — полная разность давлений в жидкости,  $\text{Па}$ ;  $\Delta p_{ee}$  — полная разность давлений жидкости в конден-

саторе,  $\text{Па}$ ;  $\Delta p_v$  — разность давления в паре,  $\text{Па}$ ;  $\Delta p_{vc}$  — полная разность давлений в конденсаторе;  $\Delta p_o$  — разность давления вследствие действия капиллярных сил,  $\text{Па}$ ;  $r$  — радиус пор,  $\text{м}$ ;  $r_l$  — радиус капилляров в испарителе,  $\text{м}$ ;  $r_n$  — радиус центров парообразования,  $\text{м}$ ;  $r_o$  — минимальный радиус капилляров,  $\text{м}$ ;  $T_{wp}$  — температура наполнителя на стенке трубы,  $\text{К}$ ;  $T_{wv}$  — температура наполнителя на поверхности, контактирующей с паром,  $\text{К}$ ;  $Z$  — длина тепловой трубы,  $\text{м}$ ;  $Z_c$  — длина конденсатора,  $\text{м}$ ;  $Z_l$  — длина испарителя,  $\text{м}$ ;  $Z_{eff}$  — эффективная длина тепловой трубы,  $\text{м}$ ;  $\alpha$  — краевой угол смачивания;  $\epsilon$  — пористость капиллярной структуры;  $\lambda_r$  — теплопроводность ребер,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\lambda_f$  — теплопроводность жидкости,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ ;  $\lambda_w$  — теплопроводность материала наполнителя,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ .

## Раздел 3.11

### ТОПКИ И КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

#### Труелав

#### 3.11.1. Технологические нагреватели и паровые котлы

**A. Технологические нагреватели.** Нагреватели используются в нефтеперерабатывающей промышленности для подогрева нефтепродуктов и разделения на фракции термического крекинга и в высокотемпературных технологических процессах. Теплоноситель протекает по трубам внутри нагревателя, рабочие температуры в трубах могут достигать  $900^{\circ}\text{C}$ , рабочие давления при температурах  $450^{\circ}\text{C}$  — до  $20 \text{ МПа}$ . Мощность аппаратов находится в пределах от 3 до  $100 \text{ МВт}$ , хотя мощность очень больших преобразователей паров углеводородов может быть до  $300 \text{ МВт}$ . В этих нагревателях в качестве топлива используются ископаемые нефть или газ.

Существует много различных конструкций технологических нагревателей [1, 2]. На рис. 1 изображена схема типичного технологического нагревателя. Он состоит из ци-

линдрической вертикальной камеры сгорания, внутри которой горает топливо. Стенки ее 2 обычно изготавливаются из огнеупорного материала. В камере находятся теплопоглощающие трубы 3, расположенные вертикально вдоль стен, которые поглощают часть теплоты от факела продувки горения до того, как они попадут на участок конвективного нагрева. В такой конструкции все трубы расположены эквидистантно по отношению к форсункам 4, что гарантирует равномерное распределение тепловыделения по периметру, хотя тепловой поток может значительно изменяться вдоль труб.

На радиационном участке теплопотока передается преимущественно излучением, тем не менее передача теплоты конвекцией может составлять до 10%. Тепловые потоки на поверхности труб на участке радиационного теплообмена составляют около  $50 \text{ кВт}/\text{м}^2$ . Трубы на участке конвективного нагрева устанавливаются в виде горизонтального пучка 5 над камерой сгорания, который передает теплоту от продуктов горения при более низкой температуре, чем вертикальным трубам на участке радиационного теплообмена. На участке конвективного теплообмена часто используются обребленные трубы или другие типы развитых поверхностей. Однако первые один или два ряда труб, которые называются экранирующими трубами, также получают существенное количество теплоты излучением. В качестве этих труб не используются трубы с развитыми поверхностями, поскольку в таком случае ухудшается теплообмен излучением. Конструкция технологического нагревателя, изображенного на рис. 1, обеспечивает экономичные и высокоэффективные характеристики установки. Их мощность, как правило, составляет 3—60 МВт.

Другой тип конструкции с горизонтальными трубами показан на рис. 2. Трубы 1 на участке теплообмена излучением устанавливаются горизонтально вдоль стен и под наклонной крышкой. На участке конвективного теплообмена устанавливаются трубы в виде горизонтального пучка 3 над камерой сгорания. Обычно в таких аппаратах форсунки 2 для сжигания топлива расположены на днище, но иногда их устанавливают на боковых стенах под трубами. Мощность таких нагревателей также изменяется от 3 до 60 МВт.

Третий тип конструкции представляет собой нагреватель с двумя форсунками (рис. 3). Трубы 1 на участке теплообмена излучением устанавливаются в один ряд и обогреваются с обеих сторон. Это позволяет достичь равномерного распределения тепловых потоков по периметру труб. В таких нагревателях форсунки 3 также устанавливаются в

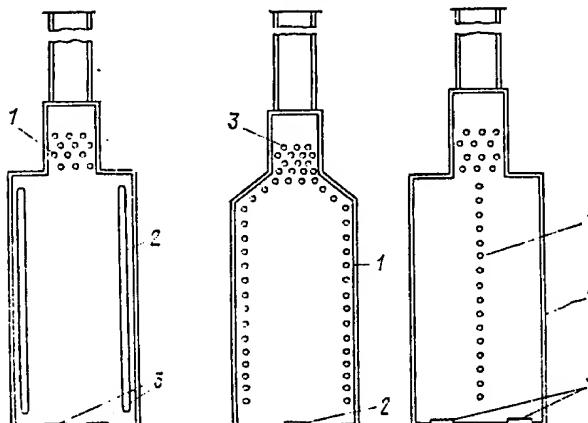


Рис. 1. Вертикальный цилиндрический нагреватель с конвективной секцией, обтекаемой поперечным потоком:  
1 — конвективная секция; 2 — отражатели; 3 — форсунки

Рис. 2. Нагреватель с горизонтальными трубами:  
1 — отражатели; 2 — форсунки; 3 — конвективная секция

Рис. 3. Нагреватель с двумя форсунками:  
1 — отражатели; 2 — стенки-рефлекторы; 3 — форсунки

Рис.  
1 —  
моль

дни  
счет  
рыс  
лах

лен  
ды  
до 2  
тор  
могу  
уста  
исп  
ды  
рич  
лен  
дукт  
сгор  
чере  
нак  
тий  
иск  
из д  
ходи  
пере  
в па  
Мак  
гут

мога  
тель  
на 1  
и в  
темп  
топ  
топ  
уста  
тека  
ния  
сун  
стен  
шес  
кон  
ния

## **ENCLOSURE 4**

(57) Zusammenfassung

Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie, bei dem Ladungen zwischen zwei Arbeitskörpern triboelektrisch oder elektrostatisch getrennt, die Ladungen durch Verschiebung von Arbeitskörpern unter Einwirkung äusserer Kräfte von einander entfernt werden, hierbei die äusseren Kräfte gegen die Coulomb Kraft Arbeit leisten, und die Ladungen auf Elektroden geführt werden, wobei die genannten Verfahrensschritte innerhalb des Innenvolumens einer Wärmeröhre durchgeführt werden, hierbei die Ladungstrennung und die Ladungsverschiebung mit Hilfe der gerichteten Gasströmung der Wärmeröhre erfolgt, welche den einen Arbeitskörper mitführt und ihn zur Ladungstrennung und Verschiebung an dem anderen Arbeitskörper vorbeiführt. Anwendungsbereich – Sonnenenergienutzung

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

|    |                              |    |                                   |    |   |    |                                |
|----|------------------------------|----|-----------------------------------|----|---|----|--------------------------------|
| AL | Albanien                     | ES | Spanien                           | LS | Lesotho   | SI | Slowenien                      |
| AM | Armenien                     | FI | Finnland                          | LT | Litauen   | SK | Slowakei                       |
| AT | Österreich                   | FR | Frankreich                        | LU | Luxemburg                                       | SN | Senegal                        |
| AU | Australien                   | GA | Gabun                             | LV | Lettland  | SZ | Swasiland                      |
| AZ | Aserbaidschan                | GB | Vereinigtes Königreich            | MC | Monaco  | TD | Tschad                         |
| BA | Bosnien-Herzegowina          | GE | Georgien                          | MD | Republik Moldau                                 | TG | Togo                           |
| BB | Barbados                     | GH | Ghana                             | MG | Madagaskar                                      | TJ | Tadschikistan                  |
| BE | Belgien                      | GN | Guinea                            | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan                   |
| BF | Burkina Faso                 | GR | Griechenland                      | ML | Mali  | TR | Türkei                         |
| BG | Bulgarien                    | HU | Ungarn                            | MN | Mongolei  | TT | Trinidad und Tobago            |
| BJ | Benin                        | IE | Irland                            | MR | Mauretanien                                     | UA | Ukraine                        |
| BR | Brasilien                    | IL | Israel                            | MW | Malawi  | UG | Uganda                         |
| BY | Belarus                      | IS | Island                            | MX | Mexiko  | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada                       | IT | Italien                           | NE | Niger   | UZ | Usbekistan                     |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan                             | NL | Niederlande                                     | VN | Vietnam                        |
| CG | Kongo                        | KE | Kenia                             | NO | Norwegen  | YU | Jugoslawien                    |
| CH | Schweiz                      | KG | Kirgisistan                       | NZ | Neuseeland                                      | ZW | Zimbabwe                       |
| CI | Côte d'Ivoire                | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | PL | Polen   |    |                                |
| CM | Kamerun                      | KR | Republik Korea                    | PT | Portugal  |    |                                |
| CN | China                        | KZ | Kasachstan                        | RO | Rumänien  |    |                                |
| CU | Kuba                         | LC | St. Lucia                         | RU | Russische Föderation                            |    |                                |
| CZ | Tschechische Republik        | LI | Liechtenstein                     | SD | Sudan   |    |                                |
| DE | Deutschland                  | LK | Sri Lanka                         | SE | Schweden  |    |                                |
| DK | Dänemark                     | LR | Liberia                           | SG | Singapur  |    |                                |
| EE | Estland                      |    |                                   |    |   |    |                                |

- 1 -

### Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie

Es ist ein Verfahren bekannt zur Erzeugung hoher Gleichspannungen durch mechanische Verschiebung elektrischer Ladungen. Dabei werden durch Triboelektrisierung oder durch induzierte Elektrisierung die Ladungen zwischen zwei Arbeitskörpern getrennt, wobei einer von ihnen mit einer Elektrode elektrisch verbunden ist.

Danach wird der zweite Arbeitskörper an eine andere Elektrode übertragen, an der eine Ladungsabnahme erfolgt. Das beschriebene Verfahren wird in Vorrichtungen realisiert, die als elektrostatische Generatoren bezeichnet werden (DE 23 36 487 A 1, European Patent Application 0229 843 A 1).

Es ist ein Verfahren bekannt zur Erzeugung elektrischer Energie durch Reibung einiger steifer dielektrischer Oberflächen aneinander, die aus verschiedenen Materialien bestehen, und das in einer Kompaktvorrichtung realisiert wird (European Patent Application 0366591 A1).

Die aufgeführten Vorrichtungen, die die bekannten Verfahren realisieren, werden durch die Möglichkeit der Erzeugung elektrischer Hochspannung (bis 15-20 MV), durch niedrigen Strom (bis 10 mA), also auch durch eine niedrige Leistung charakterisiert. Die Leistung dieser Vorrichtungen wird durch die maximal zulässige Oberflächendichte der Ladungen auf einem Förderer, dem Träger der Ladung, einerseits und durch die Geschwindigkeit der mechanischen Bewegung dieses Ladungsförderers andererseits begrenzt.

Die Ladungsdichte ist ihrerseits durch die Entstehung der elektrischen Entladung an der Oberfläche begrenzt. Die Geschwindigkeit des Ladungsförderers ist durch die mechanischen Bewegungsmöglichkeiten der Systemteile begrenzt.

Den Wirkungsgrad des Systems bestimmen hauptsächlich die aerodynamischen Verluste bei der mechanischen Bewegung des Ladungsförderers und die Reibung der mechanischen Systemteile untereinander. In den existierenden Vorrichtungen beträgt diese nicht mehr als 15-20 %.

Der in den Patentansprüchen 1-6 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, die Leistung und den Wirkungsgrad der das beschriebene Verfahren verwirklichenden Vorrichtungen zu erhöhen und die Umwandlung der Wärmeenergie in elektrische Energie zu ermöglichen.

Dieses Problem wird durch die in den Patentansprüchen 1-5 aufgeführte Merkmale gelöst.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß das angegebene Verfahren die Wärmeenergie irgendeines Erhitzers für ihre direkte Wandlung in elektrische Energie zu nutzen ermöglicht, wobei eine hohe Ausgangsleistung und ein hoher Wirkungsgrad erreicht wird.

Infolge der Eigenschaften der Wärmeröhren, reicht eine relativ kleine Temperaturdifferenz zwischen dem Erhitzer und dem Kühler, um eine hohe Stromgeschwindigkeit des gasförmigen Arbeitskörpers der Wärmeröhre, und folglich auch eine hohe kinetische Energie zu erreichen. Durch diese kinetische Energie bewirkt der genannte Strom die Triboelektrisierung der Arbeitskörper des elektrostatischen Generators und die mechanische Trennung der Ladungen. In den dieses Verfahren realisierenden Vorrichtungen fehlen somit mechanisch bewegte Teile, dadurch werden alle deswegen entstehenden Leistungs- und Wirkungsgradverluste vermieden. Außerdem erfolgt in diesem Fall der Antrieb nicht durch äußere mechanische Arbeit, sondern durch Wärmeenergie, welche sogar aus einer kleinen Temperaturdifferenz abgenommen werden kann.

Die Ausführungsbeispiele des Verfahrens sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1

Ausführungsbeispiel des Verfahrens in einer stationären Vorrichtung mit seiner angegebenen Orientierung im Gewichtskraftfeld.

Fig. 2

Ausführungsbeispiel des Verfahrens in einer Vorrichtung, die bei verschiedenen Orientierungen, im Gewichtskraftfeld, als auch in der Schwerelosigkeit funktionieren kann.

Fig. 3

Ausführungsbeispiel des Verfahrens, bei dem die Elektrisierung der Arbeitsflüssigkeit des elektrostatischen Generators nicht am Ort ihrer Loslösung von der Mündung der Speiseröhre erfolgt, sondern in einiger Entfernung von dieser durch das Zerschlagen der Tropfen beim plötzlichen Auftreffen auf das Netz.

Alle Arten der Geräte, die den Prozeß ermöglichen, beinhalten die Wärmeröhre (WR) 1 und der Generator 2. Die Wärmeröhre 1 besitzt den Arbeitskörper in flüssiger Phase (die Arbeitsflüssigkeit der WR) 3, so wie in der Gasphase (das Arbeitsgas der WR) 4, und ein Kapillareinsatz der Wärmeröhre 5. Der Generator 2 enthält den harten Arbeitskörper des Generators 6, den flüssigen Arbeitskörper des Generators 7, das Netz für die Ladungsabnahme 8, die äußeren Elektroden 9a und 9b und die Kontur 10 für die Rückführung des flüssigen Arbeitskörpers.

Beim Aufbau eines äußeren Temperaturgradienten zwischen dem Verdampfer 11 und dem Kondensator der Wärmeröhre 12 verdampft die Arbeitsflüssigkeit der WR im Verdampfer auf seiner Kapillarstruktur. Gleichzeitig verdichtet sich das Arbeitsgas WR auf der Kapillarstruktur des Kondensators der WR. Die Flüssigkeit 3 gelangt über den Kapillareinsatz 5 aus dem Kondensator zurück in den Verdampfer.

Es genügt für den Fortgang des Prozesses, daß dem Arbeitskörper der WR die verborgene Wärme der Dampfbildung im ersten Fall zugeführt und im zweiten Fall abgeführt wird. Deshalb kann dieses Prozeß auch bei sehr kleiner Temperaturdifferenz durchgeführt werden.

Dabei vergrößert sich sprungartig das Volumen des Arbeitskörpers der WR im Verdampfer und infolgedessen auch der Druck des Arbeitsgases 4 im Verdampfer. Genauso sprunghaft verkleinert sich das Volumen des Arbeitskörpers und der Druck des Arbeitsgases der WR im Kondensator.

Damit finden bei einer kleinen Temperaturdifferenz in einem geschlossenen Raum gleichzeitig und ununterbrochen zwei, den Eigenschaften nach explosionsartige, mit verschiedenen Vorzeichen ablaufende und im Raum verteilte Prozesse der Erhöhung und Erniedrigung des Gasdrucks statt. Dies führt zur Entstehung eines Hochgeschwindigkeitsgasstroms aus dem Verdampfer in den Kondensator.

Dabei wandelt sich die Wärmeenergie, die der Wärmeröhre zugeführt wird, in die kinetische Energie der Moleküle des Gasstroms um und kann im weiteren in andere Arten von Energie umgewandelt werden, z. B. in elektrische Energie.

Der harte Arbeitskörper 6 und der flüssige Arbeitskörper 7 des Generators 2 werden im Inneren der Wärmeröhre untergebracht, etwa am Ort des maximalen Stroms des Arbeitsgases der WR 4, unmittelbar hinter dem Diaphragma 13. Das Diaphragma 13 konzentriert den Gasstrom aus dem Verdampfer in den Kondensator. Dabei ist der harte Arbeitskörper 6 bzgl. der WR unbeweglich befestigt.

Der flüssige Arbeitskörper 7 wird in das Innere der WR über den Speiser 14 zugeführt, wobei die Ladungstrennung und die Ladungsverschiebung mit Hilfe der gerichteten Gasströmung der Wärmeröhre erfolgt, welche die Flüssigkeitspartikel mitführt und ihn zur Ladungstrennung und Verschiebung an dem anderen Arbeitskörper vorbeiführt.

Im weiteren erfolgt die Ladungsabnahme auf die äußere Elektrode 9a, im ganzen analog zu dem, wie dies in den elektrostatischen Generatoren mit harten Körpern erfolgt.

Bei der Variante der Verfahrensdurchführung (Fig. 2) ist die Kontur 10 für die Rückführung des flüssigen Arbeitskörpers 7 des Generators mit der Kapillarstruktur aufgefüllt. Dies gibt die Möglichkeit, die Arbeit des Gerätes unabhängig von dessen Lage im Feld der Gewichtskräfte, und auch in der Schwerelosigkeit, durchzuführen. Dabei ist die offene Oberfläche der erwähnten Kapillarstruktur unmittelbar hinter dem Netz der Abnahmeelektrode 8 untergebracht.

Bei den Ausführungsbeispielen anderer Varianten des Verfahrens (Fig. 3) erfolgt die Ladungstrennung durch das Auftreffen der Flüssigkeit 7 auf den Körper 6. Dabei hat der Körper 6 die Form von z. B. einem Netz. In diesem Fall wird der harte Arbeitskörper in einiger Entfernung *l* von dem Einführungsort des Speisers 14 ins Innere der Wärmeröhre gebracht. Die Tropfen des Körpers 7 gewinnen noch vor dem Aufprall auf dem Körper 6 eine gewisse kinetische Energie, die für die Ladungstrennung geleistet wird. Nach dem Aufprall werden die geladenen Tropfen weiter mit dem Gasstrom der WR 4 zur Elektrode 8 fortgetragen.

Die nicht kondensierenden Gase, die in der Wärmeröhre verweilen (z. B. Luft, und auch Dämpfe der Arbeitsflüssigkeit des Generators, die unvermeidlich in einem geschlossenen Raum mit der Flüssigkeit, die eine freie Oberfläche hat, vorhanden sind), werden in den ersten Sekunden der Arbeit von der WR durch das Arbeitsgas der WR zu einem der Röhrenenden abgedrängt, und bilden ein Gaskissen 15.

- 6 -

Bei der Geometrie der WR und der Elektrode für die Ladungsabnahme 8 (Abb. 1-3), isoliert dieses Gaskissen gewissermaßen thermisch die Abnahmeelektrode 8 und die ihr anliegende Wand der Wärmeröhre. Deshalb unterscheidet sich die Temperatur der Elektrode in allgemeinem Fall von der Temperatur der Kapillarstruktur des Kondensators der Wärmeröhre.

Da der Einführungsort des Speisers 14 in die WR sich außerhalb des Verdampfers befindet, kann als die Arbeitsflüssigkeit der WR und des Generators eine und die selbe Flüssigkeit verwendet werden.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie, bei dem Ladungen zwischen zwei Arbeitskörpern triboelektrisch oder elektrostatisch getrennt, die Ladungen durch Verschiebung von Arbeitskörpern unter Einwirkung äußerer Kräfte von einander entfernt werden, wobei die äußeren Kräfte gegen die Coulomb Kraft Arbeit leisten, und die Ladungen auf Elektroden geführt werden,

dadurch gekennzeichnet,

daß die genannten Verfahrensschritte innerhalb des Innenvolumens einer Wärmeröhre durchgeführt werden, wobei die Ladungstrennung und die Ladungsverschiebung mit Hilfe der gerichteten Gasströmung der Wärmeröhre erfolgt, welche den einen Arbeitskörper mitführt und ihn zur Ladungstrennung und Verschiebung an dem anderen Arbeitskörper vorbeiführt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der eine Arbeitskörper in der Gasströmung mitgeführte Flüssigkeitspartikel umfaßt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der eine Arbeitskörper ein von der Gasströmung durchströmtes Netz umfaßt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der andere Arbeitskörper innerhalb der Wärmeröhre etwa an der Position maximaler Strömungsgeschwindigkeit angeordnet ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkeit zur Bildung der Flüssigkeitspartikel rückgewonnen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als die Arbeitsflüssigkeit der Wärmeröhre und des Generators ein und dieselbe Flüssigkeit verwendet wird.

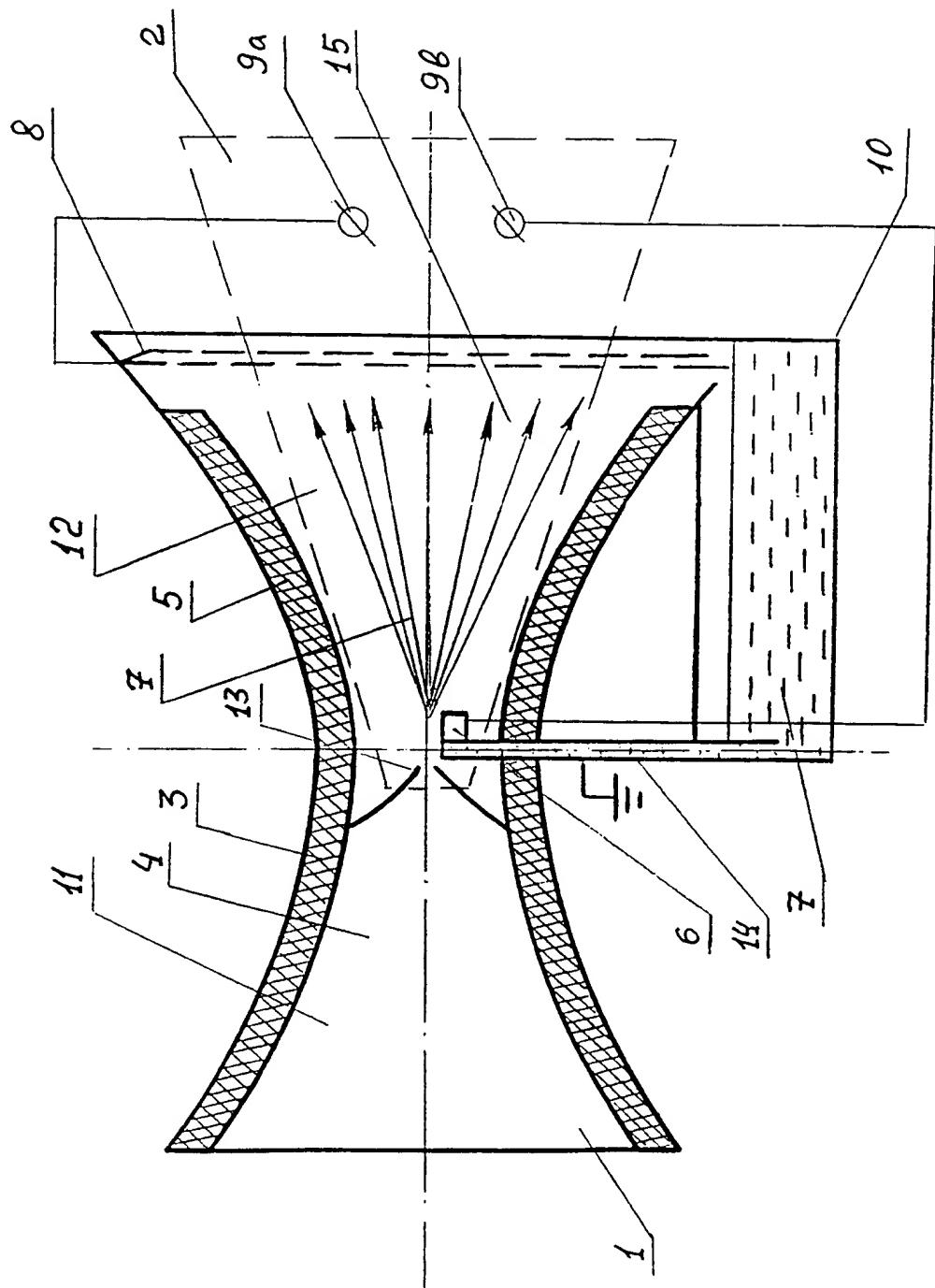


Fig. 1.

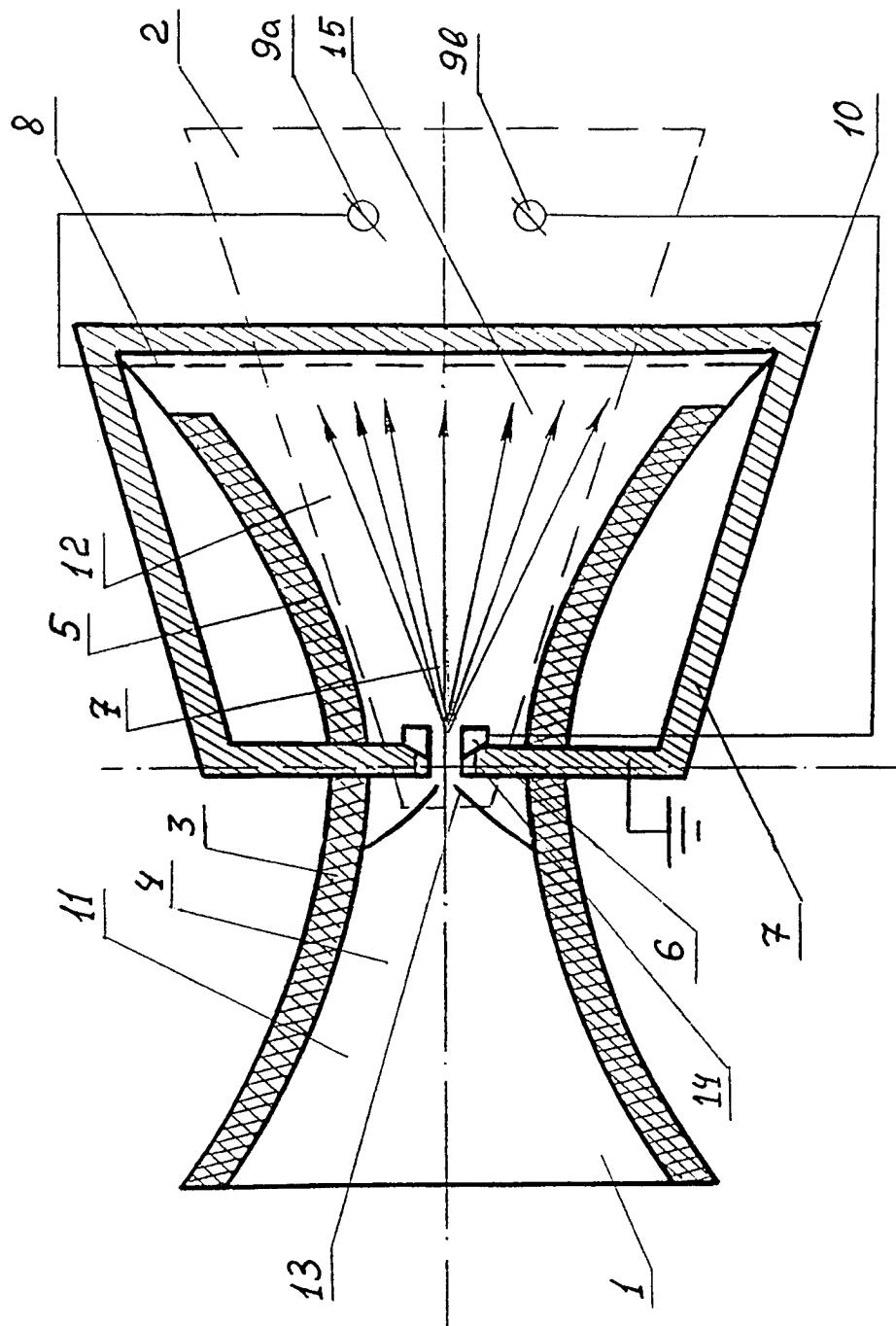


Fig. 2.

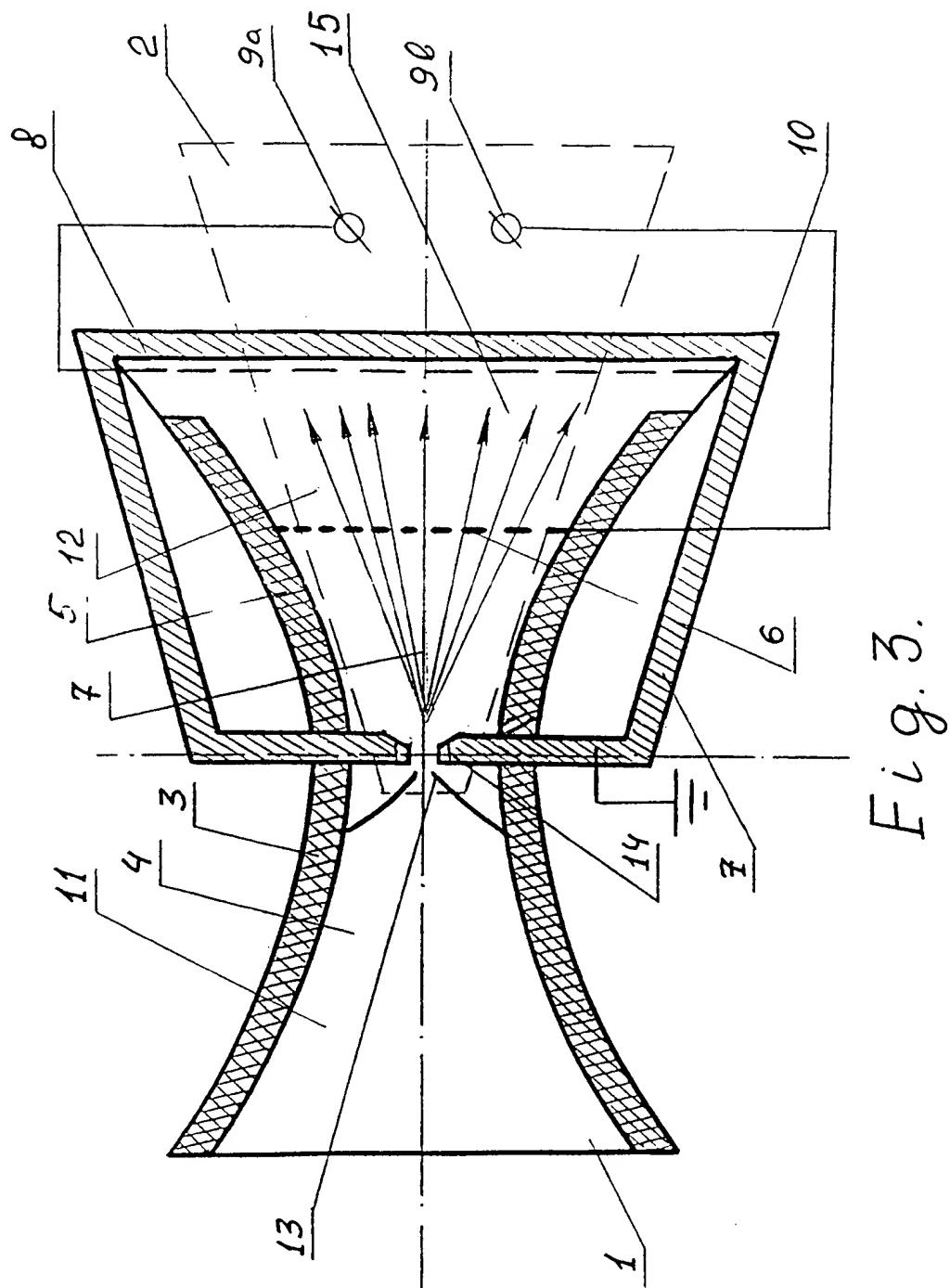


Fig. 3.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

|                 |                |
|-----------------|----------------|
| Int'l           | Application No |
| PCT/DE 99/03389 |                |

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H02N3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|----------|--|-----------------------|
| A        | US 3 518 461 A (MARKS ALVIN M)<br>30 June 1970 (1970-06-30)<br>---                 |                       |
| A        | US 4 433 248 A (MARKS ALVIN M)<br>21 February 1984 (1984-02-21)<br>---             |                       |
| A        | US 4 206 396 A (MARKS ALVIN M)<br>3 June 1980 (1980-06-03)<br>-----                |                       |

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 March 2000

Date of mailing of the international search report

22/03/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ramos, H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/03389

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| US 3518461                             | A 30-06-1970     | NONE                    |                  |
| US 4433248                             | A 21-02-1984     | NONE                    |                  |
| US 4206396                             | A 03-06-1980     | NONE                    |                  |

# INTERNATIONALER RECHENBERICHT

Inte  
les Aktenzeichen  
PCT/DE 99/03389

A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H02N3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H02N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|-----------|--|--------------------|
| A         | US 3 518 461 A (MARKS ALVIN M)<br>30. Juni 1970 (1970-06-30)<br>---                                |                    |
| A         | US 4 433 248 A (MARKS ALVIN M)<br>21. Februar 1984 (1984-02-21)<br>---                             |                    |
| A         | US 4 206 396 A (MARKS ALVIN M)<br>3. Juni 1980 (1980-06-03)<br>----                                |                    |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

|  |   |
|--|---|
| <p>° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 15. März 2000  | 22/03/2000  |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P. B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Bevollmächtigter Bediensteter<br>Ramos, H           |

**INTERNATIONA** RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03389

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|---|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| US 3518461 A                                    | 30-06-1970                 | KEINE                          |                            |
| US 4433248 A                                    | 21-02-1984                 | KEINE                          |                            |
| US 4206396 A                                    | 03-06-1980                 | KEINE                          |                            |

## **ENCLOSURE 2**

# VDI-Lexikon Energietechnik

Herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing.  
Dr.-Ing. E. h. Helmut Schaefer VDI

Vereinigung  
Bücher-Zeitschr.-Verzeichnis  
Nr. 1994/1273-N  
27. Okt. 1994  
**BIBLIOTHEK PHYSIK**  
der Philipps-Universität Marburg

6ndX  
Bibliotheksbüro gestellte BAT Vb  
DN 235,60

**VDI** VERLAG

1994/1273-N

Die Deutsche Bibliothek — CIP-Einheitsaufnahme

**Schaefer, Helmut:**

VDI-Lexikon Energietechnik / hrsg. von Helmut Schaefer.

Düsseldorf: VDI-Verl., 1994

ISBN 3-18-400892-4

NE: HST

Lektorat: Siegfried Binder unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Heinz Gerlach

Graphische Darstellungen: Peter Lübke, Wachenheim

Gesamtherstellung: Bonner Universitäts-Buchdruckerei

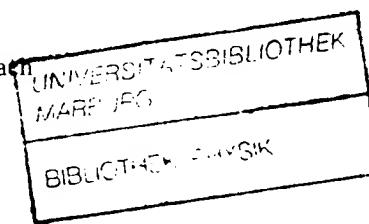
© VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1994

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie)  
und das der Übersetzung, vorbehalten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk  
berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen  
im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären  
und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Printed in Germany

ISBN 3-18-400892-4



Legungsleistung entspricht einem Teil des Gesamt-wärmebedarfs. Hierdurch arbeitet sie weit häufiger in der Nähe des Auslegungspunktes mit gutem Wirkungsgrad als im ungünstigeren Teillastbereich. Man unterscheidet zwischen bivalent alternativer Betriebsweise, bei welcher der Wärmebedarf ab dem Dimensionierungspunkt durch die Zusatzheizung allein gedeckt wird (Bild, Fläche 1+2) und der bivalent parallelen → Betriebsart, bei welcher die Wärmepumpe auch bei niedrigsten Außentemperaturen weiterarbeitet (Fläche 2+3) und von der Zusatzheizung (Fläche 1) unterstützt wird. *Knoche*

### Wärmepumpe, verbrennungsmotorisch betriebene → Wärmepumpe

**Wärmequelle.** Energiereservoir für Niedertemperaturwärme. → Wirtschaftlichkeit, Aufbau und Betriebsweise einer → Wärmepumpe hängen weitgehend von der vorhandenen W. ab.

Natürliche W. haben alle einen jahreszeitlich veränderlichen Gang der Temperatur, der z. B. beim Erdreich als W. weit weniger ausgeprägt ist als z. B. bei Luft.

Bei der Erschließung von W.n sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

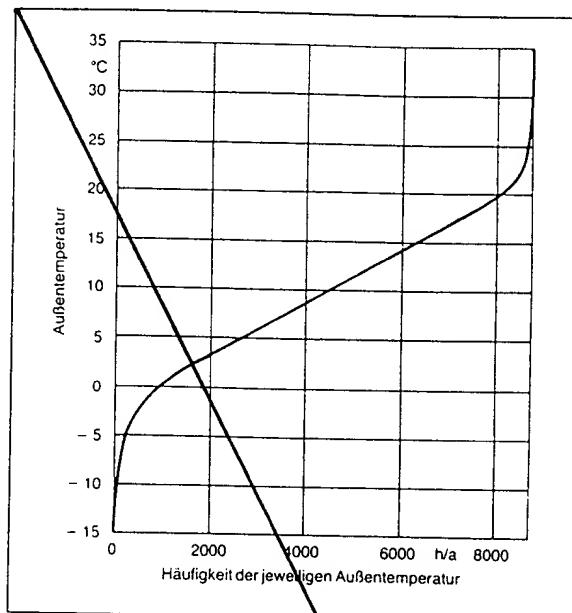
- Die benötigte Wärmemenge soll zu jeder Zeit in ausreichender Menge zur Verfügung stehen;
- die Temperatur der W. soll möglichst hoch sein, damit die Temperaturdifferenz zwischen Nutzwärme und W. klein ist und so eine hohe → Heizzahl der Wärmepumpe erreicht wird;
- die Erschließungskosten der W. sollen gering sein;
- der → Energieaufwand für Pumpen und Ventilatoren soll gering sein.

Im Bereich der Hausheizung sind folgende Wärmequellen geeignet:

**Luft:** Die normale Atmosphäre ist überall und immer verfügbar und stellt ein fast unerschöpfliches Wärmereservoir dar, allerdings bei sehr unterschiedlichen Temperaturen. Für die Bemessung einer Wärmepumpe mit der W. Luft ist deshalb der jahreszeitliche Verlauf der Lufttemperaturen von ausschlaggebender Bedeutung. Eine typische Kurve der Temperaturhäufigkeit zeigt, daß die Temperaturen nur etwa während 200 h/Jahr unter  $-5^{\circ}\text{C}$  und nur etwa während 900 h/Jahr unter  $0^{\circ}\text{C}$  liegen (Bild).

**Wasser:** Wasser ist wegen seiner guten Wärmeübertragungseigenschaft und hohen Wärmekapazität eine ideale Wärmequelle. Für Wärmepumpen wird – falls verfügbar – → Grundwasser oder Oberflächenwasser (Flüsse und Seen) verwendet. Grundwasser hat eine fast gleichmäßige Temperatur von  $8-10^{\circ}\text{C}$ . Damit ergeben sich für den Heizbetrieb günstige Heizzahlen.

**Erdboden:** Der Erdboden besitzt ein großes Speichervermögen für die aufgenommene Sonnen-



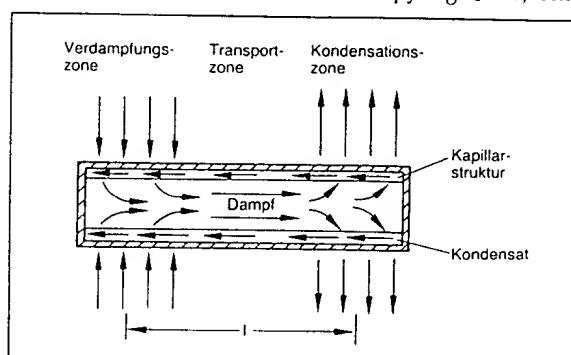
Wärmequelle: Jahreshäufigkeit der Außentemperaturen am Beispiel der Stadt Mannheim. (Quelle: Trenkowitz: Die Wärmepumpe. In: VDI-Bericht 136. Düsseldorf: VDI-Verlag 1969)

wärme und hat ab Tiefen von 1,5 m eine praktisch konstante Temperatur von rd.  $+10^{\circ}\text{C}$ . Aus wirtschaftlichen Gründen werden für kleinere Anlagen Rohrschlangen für den Wärmetausch nicht tiefer als 0,80–1,50 m verlegt, wobei der Verlegeabstand  $\geq 1$  m betragen soll.

Aus Sicherheitsgründen wird als Wärmeträger ein → Frostschutzmittel verwendet. Aus industriellen und gewerblichen Abwässern kann oftmals mit verhältnismäßig wenig Aufwand → Abwärme zurückgewonnen werden. *Knoche*

**Wärmerohr (Heat Pipe).** Ein W. (engl. heat pipe) ist eine Apparatur mit sehr hohen effektiven Wärmetransporteigenschaften, die durch die Kombination von → Verdampfung und → Kondensation in einem geschlossenen Gefäß erreicht werden.

Den Aufbau und die Funktion eines W. zeigt Bild 1. Das W. weist eine Verdampfungszone, eine



Wärmerohr 1: Schematische Darstellung.

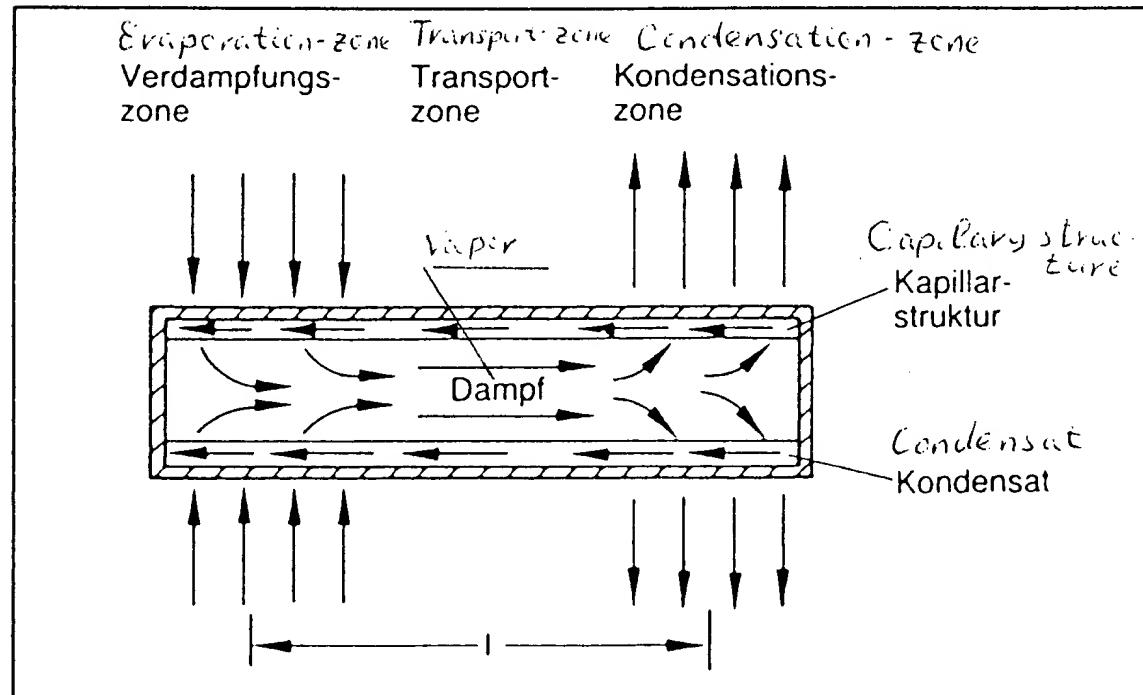
Nutz-  
leizzahl  
gering  
/entila-  
lgende  
all und  
fliches  
unter-  
lessung  
alb der  
en von  
Kurve  
peratu-  
nd nur  
Bild).  
Värme-  
kapazi-  
täten  
t Ober-  
Grund-  
tur von  
betrieb  
s Spei-  
onen-

0,80–1,50 m verlegt, wobei der Verlegeabstand  $\geq 1$  m betragen soll.

Aus Sicherheitsgründen wird als Wärmeträger ein →Frostschutzmittel verwendet. Aus industriellen und gewerblichen Abwässern kann oftmals mit verhältnismäßig wenig Aufwand →Abwärme zurückgewonnen werden. *Knoche*

**Wärmerohr (Heat Pipe).** Ein W. (engl. heat pipe) ist eine Apparatur mit sehr hohen effektiven Wärmetransporteigenschaften, die durch die Kombination von →Verdampfung und →Kondensation in einem geschlossenen Gefäß erreicht werden.

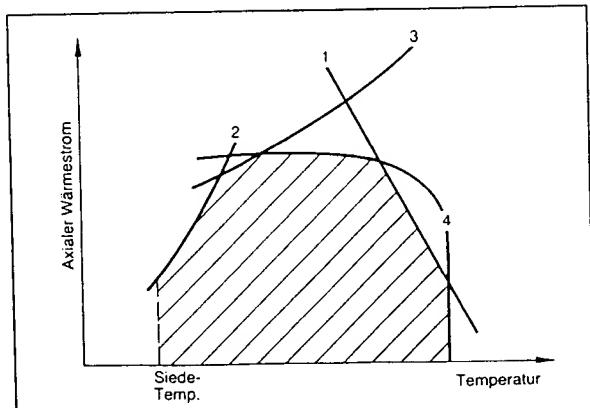
Den Aufbau und die Funktion eines W. zeigt Bild 1. Das W. weist eine *Verdampfungszone*, eine



*Wärmerohr 1: Schematische Darstellung.  
Heat pipe 1: Schematic representation*

Transportzone und eine Kondensationszone auf. Im Bereich der Verdampfungs- oder Heizungszone wird dem evakuierten W. Wärme zugeführt. Dabei verdampft der in seinem Inneren befindliche Wärmeträger und strömt mit großer Geschwindigkeit über die Transportzone der Kondensations- oder Kühlzone zu. Hier findet die Wärmeabgabe an das umgebende Medium statt. Das → Kondensat fließt schließlich über eine Kapillarstruktur wieder der Verdampfungszone zu. Als Kapillaren kommen Drahtgewebe oder Rillen bzw. Vertiefungen in der inneren Tragstruktur zum Einsatz. Bei der Auswahl der Materialien spielen Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit eine entscheidende Rolle.

Eine typische Eigenschaft des Wärmerohres ist seine hohe Wärmeübertragungsleistung. Vergleicht man das W. mit einem homogenen Metallstab, so ist seine scheinbare Wärmeleitfähigkeit bis zu 10 000mal so hoch wie die eines guten metallischen Leiters. Deshalb werden W. dort eingesetzt, wo Aggregate mit hohen Wärmestromdichten gekühlt werden müssen. Die geringen Temperaturunterschiede zwischen der Verdampfungs- und Kondensationszone ermöglichen den Ausgleich auch kleiner Temperaturdifferenzen. Damit können z. B. Wärmespannungen innerhalb von Bauteilen vermieden werden. Dem kontinuierlichen Betrieb eines W. sind dann Grenzen gesetzt, wenn der notwendige Druckabfall die Kapillardruckdifferenz übersteigt, die kritische Wärmestromdichte an der Heizzone erreicht wird oder wenn die Schallgeschwindigkeit des Dampfes auftritt (Bild 2). Störungsfreier Betrieb eines W. ist möglich bei waagerechter bzw. geneigter Lage, wenn sich die Kondensationszone oberhalb der Heizzone befindet und so eine Addition von Kapillar- und Schwerkraft vorhanden ist. Um Anlaufschwierigkeiten zu vermeiden, sollte eine leichte Neigung des Elementes vorhanden sein. Trocknet das Wärmerohr in der



Wärmerohr 2: Einengung des Arbeitsbereiches durch Randbedingungen.

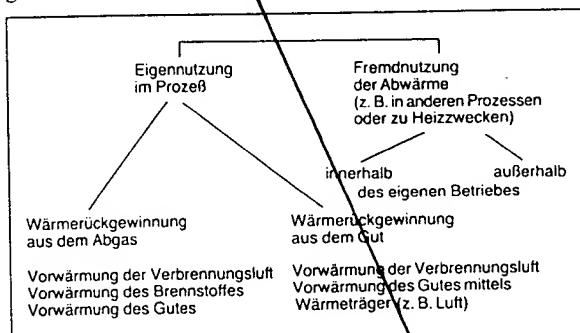
1 Grenze durch Wärmestromdichte, 2 Grenze durch Schallgeschwindigkeit, 3 Grenze durch Scherwirkung zwischen Dampf und Flüssigkeitsströmung, 4 Grenze durch Kapillarkraft

Heizzone aus, kann dies bei aufgeprägter Wärmestromdichte zur Zerstörung führen (burn out).  
W. Köhler

Literatur: *Asselmann, G. A. A. u. D. B. Green: Das Wärmerohr – I. Arbeitsweise und Eigenschaften.* Philips techn. Rundschau 33 (1973/74) Nr. 4, S. 108–117. – *Cotter, T. P.: Theory of Heat Pipes.* Los Alamos, N. M., USA: Los Alamos Sci. Lab. Rep. LA-3246-MS 1965. – *Dunn, P. u. D. A. Reary: Heat Pipes.* Third Edition, Pergamon Press 1982. – *Moritz, K. u. R. Pruschek: Grenzen des Energietransportes in Wärmerohren.* Chemie-Ing.-Technik 41 (1969) Nr. 1 u. 2, S. 30–37. – *Reay, D. A.: Advances in Heat Pipe Technology.* Pergamon Press 1982. – *Zimmermann, P. u. R. Pruschek: Grundlagen und industrielle Anwendung von Wärmerohren.* Dechema-Monographien Bd. 65, Nr. 1168–1192, S. 67–84.

### Wärmerückgewinnung.

**Industrieöfen.** Die verschiedenen Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung in Ofenprozessen werden im Bild veranschaulicht. Zunächst ist zwischen der Eigennutzung der → Abwärme im Prozeß selbst und der Fremdnutzung in anderen Prozessen zu unterscheiden. Die Eigennutzung der Abwärme ist jedoch immer vorzuziehen, da nur so der → Primärenergieverbrauch des betreffenden Prozesses vermindert werden kann. Eine solche Energierückführung setzt allerdings häufig wesentliche Änderungen der Prozeßführung voraus. Für die Fremdnutzung stehen geeignete Wärmeverbraucher im eigenen Betrieb nur selten in erforderlichem Umfang zur Verfügung oder können außerhalb meist aus wirtschaftlichen Gründen nicht gefunden werden. Bei der Eigennutzung von Abwärme kann man zwischen der Wärmerückgewinnung aus dem → Abgas und der aus dem Gut unterscheiden (Bild).



Wärmerückgewinnung, Industrieöfen: Möglichkeiten der W. in Ofenprozessen.

Bei der erstgenannten Gruppe handelt es sich um eine Wärmerückgewinnung durch Vorwärmung der Verbrennungsluft bzw. manchmal auch des Brennstoffs sowie um eine Nutzung der Abwärme durch Vorwärmung des Gutes. Zur zweiten Gruppe zählen hingegen Prozesse, bei denen die Verbrennungsluft unter Nutzung der Kühlwärme vorgewärmt oder bei denen die Abwärme aus dem Kühlprozeß mit Hilfe von meist gasförmigen Wärmeträgern zur Vorwärmung des Gutes verwendet wird. Die Nutzung von